

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

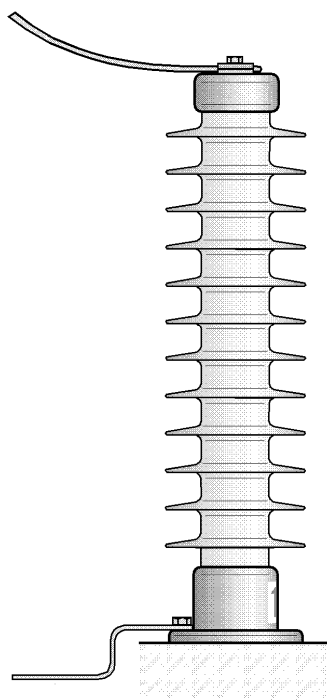
**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт

з навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ»**

*(для студентів 3, 4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання  
напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології,  
слухачів другої вищої освіти  
зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання)*



Методичні вказівки до лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій (для студентів 3, 4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа, І. Є. Щербак. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 72 с.

Укладачі : ст. викл. **В. Г. Воропай,**  
доц. **В. М. Гаряжа,**  
асист. **І. Є. Щербак**

**Рецензент:**

**Є. Д. Дьяков,** кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 10 від 27.04.2017 р.*

## ЗМІСТ

Загальні вказівки з виконання лабораторних робіт.....	4
Лабораторна робота № 1	
Маломасляні вимикачі.....	5
Лабораторна робота № 2	
Високовольтний вакуумний вимикач ВВВ–10.....	14
Лабораторна робота № 3	
Вимикачі навантаження і роз'єднувачі внутрішньої установки.....	23
Лабораторна робота № 4	
Плавкі запобіжники.....	29
Лабораторна робота № 5	
Регулювання напруги в електричних мережах за допомогою вольтододавальних трансформаторів.....	36
Лабораторна робота № 6	
Фазування силових трансформаторів і вмикання їх на паралельну роботу.....	41
Лабораторна робота № 7	
Визначення коефіцієнта вентильності нелінійного опору вентильного розрядника.....	54
Лабораторна робота № 8	
Комплектні розподільні установки високої напруги.....	60
Лабораторна робота № 9	
Трансформатори струму.....	61
Лабораторна робота № 10	
Трансформатори напруги.....	66

## ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ З ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для успішного виконання лабораторної роботи студенту необхідно заздалегідь ознайомитися з методичними вказівками і відповідною літературою, провести в разі необхідності теоретичні розрахунки, підготувати протоколи звіту з таблицями для результатів вимірювань.

Опис кожної лабораторної роботи містить домашнє завдання, порядок виконання роботи, зміст звіту, список літератури.

Лабораторні роботи виконує бригада у складі 2–4-х студентів. До виконання робіт студенти допускаються тільки після вивчення правил техніки безпеки, пожежної безпеки і відповідному підписі в журналі техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт необхідно виконувати такі правила техніки безпеки:

1. Перед збиранням схеми необхідно переконатися, що комутаційний апарат, який подає напругу на робоче місце, вимкнений.

2. Після збирання схеми ще раз переконатися, що всі з'єднання виконані відповідно до принципіальної схеми, запам'ятати, який апарат чи які відкриті частини схеми будуть знаходитися під напругою при проведенні дослідів.

3. Подавати напругу на схему слід тільки після її перевірки викладачем і з його дозволу.

4. Не торкатися струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.

5. Усі зміни в схемах і приєднання приладів виконувати тільки після відключення схеми від джерела живлення.

6. При виникненні неполадок у роботі схеми треба негайно відключити її від джерела живлення і сповістити викладачеві.

7. Особливої обережності слід дотримувати при роботі зі схемами, в яких наявні значні ємності чи індуктивності.

8. Після закінчення роботи вимкнути живлення, привести робоче місце в порядок і здати його викладачеві.

Після виконання лабораторної роботи кожен студент складає звіт за встановленою формою і захищає його у складі бригади або індивідуально.

## Лабораторна робота № 1

### МАЛОМАСЛЯНІ ВИМИКАЧІ

#### 1.1 Мета роботи

Вивчити конструкцію і принцип дії маломасляних вимикачів (ММВ) і освоїти методику їхнього вибору.

#### 1.2 Домашнє завдання

1.2.1 Вивчити особливості конструкції і принцип роботи ММВ за навчальною літературою [1, с. 145-149; 2, с. 303-313].

1.2.2 Записати умови вибору вимикачів.

1.2.3 Вибрати ММВ в електричному колі (за № бригади), параметри якого вказано у таблиці 1.1. Накреслити в звіті таблиці 1.1 і 1.2 та заповнити їх. При цьому рекомендується користуватися вказівками, викладеними в [1, 2], і довідковими матеріалами з [2].

Таблиця 1.1 – Параметри кіл

Номер бригади	$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_{\text{роб.нб}},$ кА	$I_{\text{п.о.}},$ кА	$i_{\text{уд}},$ кА	$T_{\text{а}},$ с	$B_{\text{к}},$ кА <sup>2</sup> С	$I_{\text{п т}},$ кА	$i_{\text{а т}},$ кА	$\sqrt{2} \times I_{\text{п т}} + i_{\text{а т}},$ кА
1	6	930	18	43	0,04		18		
2	10	2500	90	24	0,05		90		
3	10	4000	35	39	0,06		35		
4	35	1300	16	42	0,1		16		
5	35	1000	70	100	0,15		70		

Таблиця 1.2 – Параметри вимикача

Номер бригади	Тип вимикач	$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_{\text{ном.}},$ кА	$I_{\text{вимк.н.}},$ кА	$\sqrt{2} \times \beta / 100,$ кА	$I_{\text{вимк.н.}},$ кА	$I_{\text{дин}},$ кА	$i_{\text{дин}},$ кА	$\sqrt{2} I_{\text{отк.н.}}$ $(1 + \beta / 100)$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}$ кА <sup>2</sup> с

При виборі вимикача необхідно враховувати значну кількість різних параметрів, але оскільки заводи, що виготовляють вимикачі гарантують певну залежність параметрів вмикання і вимикання, то вибір вимикачів можливо проводити за найважливішими параметрами: за здатністю вимикати, за електродинамічною і термічною стійкістю.

Вибір вимикачів здійснюють за такими параметрами:

*Номінальною напругою*

$$U_{\text{м.ном}} \leq U_{\text{ном}}, \quad (1.1)$$

де  $U_{\text{м.ном}}$  – номінальна напруга мережі, кВ;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга вимикача, кВ;

*Розрахунковим тривалим струмом*

$$I_{\text{розр}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (1.2)$$

де  $I_{\text{ном}}$  – номінальний струм вимикача, А.

Розрахунковий струм  $I_{\text{розр}}$  вибирають за найбільш несприятливим експлуатаційним режимом. Наприклад, при наявності двох паралельних ліній  $I_{\text{розр}}$  визначають за умови відключення однієї з них, тобто  $I_{\text{розр}} = 2I_{\text{роб}}$  ( $I_{\text{роб}}$  – тривалий робочий струм однієї лінії).

Перевірка вимикачів здійснюється в наступному порядку:

– проводять перевірку на симетричний струм вимикання за умовою:

$$I_{\text{п0}} = I_{\text{вим.н}}, \quad (1.3)$$

де  $I_{\text{п0}}$  – періодична складова струму короткого замикання, кА;

$I_{\text{вим.н}}$  – номінальний струм вимикання вимикача, кА.

– перевіряють можливість вимкнення аперіодичної складової струму короткого замикання за умовою:

$$i_{\text{а}\tau} \leq \sqrt{2} \frac{\beta_{\text{ном}}}{100} \times I_{\text{вим.н}}, \quad (1.4)$$

де  $\beta$  – нормоване значення аперіодичної складової струму короткого замикання для даного вимикача (каталожне значення), в % від  $I_{\text{вим.н}}$ :

Аперіодична складова струму короткого замикання

$$i_{\text{а}\tau} = \sqrt{2} \times I_{\text{п0}} \times e^{\frac{-\tau}{T_{\text{а}}}}, \quad (1.5)$$

де  $T_{\text{а}}$  – постійна часу загасання аперіодичної складової струму к.з.;

$\tau = 0,01 + t_{\text{вЛВ}}$  – найменший час від початку к.з. до моменту розбіжності дугогасильних контактів (0,01 с – мінімальний час дії релейного захисту);

$t_{\text{вЛВ}}$  – власний час вимкнення вимикача).

Якщо друга умова не виконується, то перевіряють за третьою

$$\sqrt{2} \times I_{п\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} I_{\text{вим.н}} \left( 1 + \frac{\beta_{\text{ном}}}{100} \times I_{\text{вим.н}} \right) \quad (1.6)$$

Далі вимикач перевіряють на електродинамічну стійкість за граничними наскрізними струмами к.з.

$$I_{п0} \leq I_{\text{дин}}, i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}, \quad (1.7)$$

де  $I_{\text{дин}}, i_{\text{дин}}$  – відповідно періодична і миттєва складові струму короткого замикання, (каталожні значення), кА.

Інтеграл Джоуля приблизно визначають за формулою

$$W_k = I_{п0}^2 (t_{\text{відкл.}} + T_a), \quad (1.8)$$

де  $t_{\text{відкл.}} = t_{\text{з.}} + t_{\text{вим}}$  ( $t_{\text{з.}}$  – час дії релейного захисту, с, можна прийняти рівним часові спрацювання резервного захисту, що дорівнює 4 с).

При перевірці вимикача на термічну стійкість повинна дотримуватися наступна умова:

$$W_k \leq I_{\text{т.ном.}}^2 \cdot t_{\text{т}}, \quad (1.9)$$

де  $I_{\text{т.ном.}}, t_{\text{т}}$  – відповідно струм, кА і час, с, термічної стійкості (каталожні значення)

### 1.3 Опис лабораторних стендів і макетів

На стенді «Маломасляні вимикачі» в лабораторії розміщені по одному полюсу вимикачів ВМГ–133, ВМП–10 і ВК–10, з ескізами дугогасильних камер і полюсів вимикачів типу МГГ; стенд з вимикачем типу ВМП–10; вимикач типу ВК–10 на візку КРУ типу КМ1.

#### *Вимикач типу ВМП–10*

Вимикачі серії ВМП ще досить широко застосовуються в закритих (ЗРУ) і комплектних розподільних пристроях (КРУ) 6–10 кВ, вони мають вбудований пружинний (тип вимикача ВМПП) або електромагнітний (тип вимикача ВМПЭ) привід.

Полюсом вимикача є вологостійкий ізоляційний циліндр (склопоксидний пластик), торці якого армуються металевими фланцями. На верхньому фланці ізоляційного циліндра закріплений корпус з алюмінієвого сплаву, усередині якого розташовані приводний випрямляючий механізм,

рухомий контактний стрижень, роликовий струмознімальний пристрій і масловіддільник. Нижній кінець полюса з силуміну закривається кришкою, в ній знаходиться розетковий контакт, а зовні – пробка для зливання масла. У циліндрі над розетковим контактом розташовується дугогасильна камера, зібрана з ізоляційних пластин з фігурними отворами. Набір пластин створює три поперечні канали і масляні кишень. У включеному положенні контактний стрижень знаходиться в розетковому контакті. При відключенні привід звільняє вимикаючу пружину, що знаходиться в рамі вимикача, і під дією її сили вал вимикача повертається, рух передається ізоляційній тязі, а від неї приводному механізму і контактному стрижню, що рухається вгору. При розмиканні контактів виникає дуга, що випарює і розкладає масло. У перший момент контактний стрижень закриває поперечні канали дугогасильної камери, тому тиск різко зростає, частина масла заповнює буферний об'єм, стискаючи в ньому повітря. Як тільки стрижень відкриває перший поперечний канал, створюється поперечне дуття газами і парами масла. Під час переходу струму через нуль тиск в газопаровому міхурі знижується і стисле повітря буферного об'єму, діючи подібно до поршня, нагнітає масло в область дуги.

При вимкненні великих струмів утворюється енергійне поперечне дуття і дуга гасне в нижній частині камери.

При вимкненні малих струмів дуга тягнеться за стрижнем і у верхній частині камери масло випаровується в кишнях, створює зустрічно-радіальне дуття, а потім при виході стрижня з камери – поздовжнє. Час загасання дуги при вимиканні великих струмів не перевищує 0,015–0,025 с.

Для підвищення стійкості контактів до дії електричної дуги і збільшення терміну їхньої служби замінюваний наконечник рухомого контакту і верхні торці ламелей нерухомого контакту облицьовані дугостійкою металокерамікою.

Після гасіння дуги пар і газу потрапляють у верхню частину корпусу, де пари масла конденсуються, а газу виходять назовні через отвір в кришці. Після заповнення камери маслом вимикач готовий для виконання наступного циклу операцій. У разі застосування автоматики повторного вмикання безструмова пауза для цих вимикачів буде близько 0,5 с.

Рівень масла в циліндрі контролюють за вказівником рівня масла.

Зовнішній вигляд вимикача ВМП–10 показаний на рисунку 1.1. Основа вимикача виконана у вигляді сталевий рами 1, що кріпиться вертикально на стіні або каркасі розподільної установки. В рамі розміщено вал вимикача 2, відключаюча пружина і буферний пристрій 3. До рами прибудований електромагнітний або пружинний привід. Бачки прикріплені до рами за допомогою фарфорових ізоляторів 4. Вал 6 кожного бачка з'єднаний з валом



2 вимикача ізольовуючою тягою 5. Кількість масла складає всього 4,5 кг. Номінальний струм відключення вимикача ВМП–10 складає залежно від виконання від 20 до 31,5 кА, номінальний струм – від 630 до 3200 А. Час відключення складає 0,12 с (6 періодів).

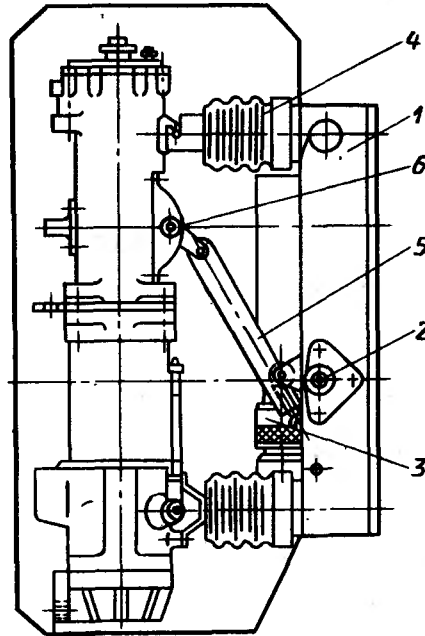


Рисунок 1.1 – Маломасляний вимикач типу ВМП–10

Вимикач типу ВМП–35 з номінальною напругою 35 кВ має аналогічну конструкцію. Номінальний струм відключення дорівнює 10 кА.

#### *Вимикач типу ВК–10*

ММВ колонкового типу ВК–10 з пружинним приводом і ВКЭ–10 з електромагнітним приводом призначені для застосування в КРУ внутрішньої і зовнішньої установки.

Вимикач складається із збірної підстави, на якій знаходяться три полюси, привід, фасадна перегородка, а на вимикачах з номінальним струмом 1250 і 1600 А – ізоляційний кожух у верхній частині вимикача. Підстава вимикача встановлена на колесах і має пристрій для підйому шторочного механізму при закриванні вимикача до КРУ, його фіксації і стаціонарного заземлення, а також для установки електромагнітних замків блокування, перемикачів блокувальних контактів КРУ.

Полюси вимикача мають штиреві вводи первинних з'єднань з розетковими контактами. Проводи кіл управління, сигналізації і блокування поміщені в гнучкі металеві рукави і розпаяні в штепсельні з'єднання.

Робота вимикача заснована на гасінні електричної дуги, що виникає при розмиканні контактів, потоком газомасляної суміші, що утворюється в результаті інтенсивного розкладання масла під дією високої температури дуги. Цей потік отримує певний напрям в спеціальному дугогасильному пристрої, розміщеному в зоні горіння дуги.

За принципом гасіння дуги вимикач ВК–10 не відрізняється від ВМП–10, але дугогасильна камера в нього знаходиться не внизу вимикача, а вгорі. Крім того, при вмиканні рухомий контакт рухається не вниз, а вгору; при вимиканні – навпаки.

### *Вимикач типу МГ*

Маломасляні вимикачі 10–20 кВ з великою комутаційною здатністю (до 90 кА) і номінальним струмом до 11 кА мають дещо іншу конструкцію (рис. 1.2).

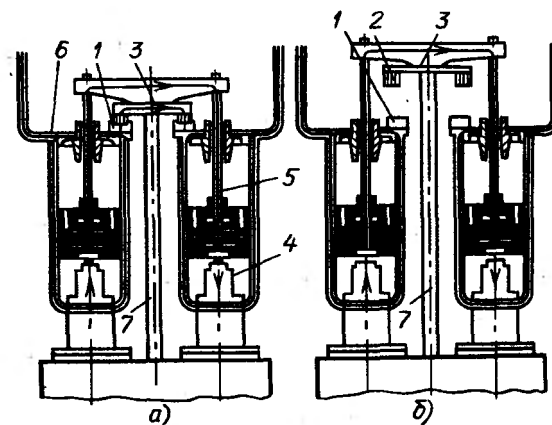


Рисунок 1.2 – Контактна система і дугогасний пристрій масляного вимикача типу МГ–10

У них по два металеві бачки на полюс. Контактна система розділена на головні і дугогасильні контакти. Нерухомі частини головних контактів виконані у вигляді тригранних призм і розташовані на кришках бачків. Рухомі частини 2 (пальцевого типу) прикріплені до контактної траверси 3. Число пар пальців визначається номінальним струмом. Нерухомі частини дугогасильних контактів розеткового типу 4 укріплені в днищах бачків. Рухомі частини у вигляді круглих стрижнів 5 прикріплені до контактної траверси і входять в бачки через прохідні ізолятори. В положенні «зв'язано» (рис. 1.2, а) більша частина струму проходить від затиску 6 по кришці бачка до головних контактів 2, траверси 3 і далі до затиску другого бачка. Менша частина струму відгалужується від основного шляху і проходить стінками першого бачка,

розетковим контактом 4, рухомим контактним стрижнем 5 до траверси і далі аналогічно до другого бачка. В процесі відключення (рис. 1.2, б) спочатку розмикаються головні контакти і весь струм зміщується в дугогасильні контакти. При розмиканні останніх в нижніх відсіках бачків загоряються дуги, що гаснуть в гасильних камерах у міру просування контактних стрижнів вгору. При вмиканні вимикача спочатку замикаються дугогасильні, а потім головні контакти.

Гасильні камери складаються з ряду дисків з ізоляційного матеріалу, що скріплені шпильками. В дисках є вирізи, що створюють центральний канал для контактного стрижня, а також «кишені» для масла і вихлопні канали для газів – продуктів розкладання масла. Тиск в камерах досягає 8 МПа, що сприяє утворенню сильного газового дуття, направленою радіально і частково вздовж каналу дуги. Після згасання дуги газу виходять з бачків через масловіддільники і газовідвідні труби (не показані). Масляні пари конденсуються, і масло стікає в бачки. Контактні траверси з рухомими контактними стрижнями в процесі відключення приводяться в рух потужними пружинами, що за допомогою ізоляційних штанг 7 з'єднані через передавальний механізм з валом вимикача. Зовнішній вигляд вимикача показаний на рисунку 1.3. Його час відключення складає 6–7 періодів.

#### *Маломасляні вимикачі 35–110 кВ.*

Маломасляні вимикачі випускаються також на номінальну напругу 35, 110 і 220 кВ. На рисунку 1.3 показаний вимикач типу ВМТ–110 номінальною напругою 110 кВ, номінальним струмом 1250 А і номінальним струмом відключення 25 кА.

Вимикач складається із сталевієї підстави 7 (рис. 1.3, а), на якій встановлено три фарфорові колони. Нижня частина кожної колони є порожнистим фарфоровим ізолятором 2, усередині якого розміщена склопластикова тяга для передачі руху від приводу 1 через механізм керування 8 до системи керування рухомими контактами. Верхня частина колони, заповнена трансформаторним маслом, являє собою дугогасильний пристрій 3. Рівень масла контролюється за допомогою масловказівника 4. Поруч із ним на ковпаку 5 кожного полюса розташовується манометр 6 для контролю надлишкового тиску в дугогасильному пристрої. Дугогасильний пристрій заповнений стислим азотом (0,5–1 МПа), що забезпечує надлишковий тиск, який сприяє підтримці високої електричної міцності міжконтактного проміжку (що особливо важливо при роботі вимикача, в циклі АПВ), підвищенню зносостійкості контактів і збереженню високого рівня внутрішньої ізоляції незалежно від зовнішніх атмосферних умов. Надлишковий тиск утворюється

перед пуском вимикача в експлуатацію й, завдяки надійній герметизації, зберігається у вимикачі до чергової ревізії.

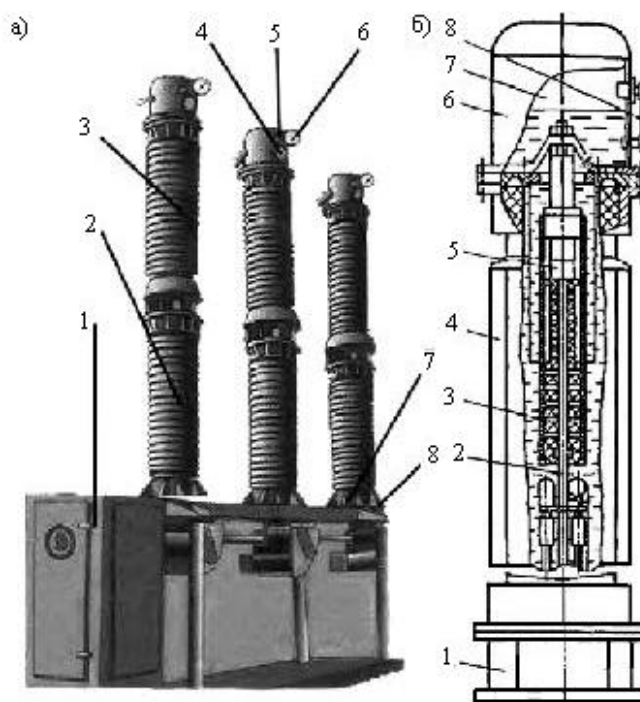


Рисунок 1.3 – Вимикач маломасляний ВМТ–110

а) загальний вигляд; б) дугогасильний модуль

Дугогасильний пристрій (рис. 1.3, б), сприймає механічні напруги при роботі вимикача і складається з дугогасильної камери 3, нерухомого контакту 5, ковпака 6, струмовідводу 1 з рухомим контактом 2. Камера розташована усередині встановленого на струмовідводі склопластикового циліндра, який захищає фарфоровий корпус 4 від впливу тиску, що виникає при гасінні дуги. На ковпаку 6 встановлений масловказівник 8 і манометр, а всередині над рівнем масла знаходиться буферна порожнина 7. Для скріплення металевих частин використовують шпильки з гайками, а для герметизації – ущільнююче кільце. Знизу дугогасильний пристрій закривається колодкою із центральним отвором для рухомого контакту.

Вимикач забезпечений пружинним приводом, час відключення складає 3 періоди. У вимикачів передбачений пристрій для підігріву масла в зимових умовах. Із звичайним трансформаторним маслом вимикачі можуть працювати при температурі до  $-45^{\circ}\text{C}$ , а з низькотемпературним маслом при температурі до  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Вимикач ВМТ–110 відноситься до швидкодіючих, його власний час відключення становить 0,03–0,035 с, а повний – 0,05–0,06 с.

Вимикач, типу ВМТ–220 складається з трьох окремих полюсів. Кожний полюс має два послідовно з'єднаних дугогасильних пристрої, встановлених на двох опорних ізоляторах 110 кВ. Полюс управляється таким же приводом, як і у вимикачів 110 кВ. Номінальний струм вимикача дорівнює 1250 А, номінальний струм відключення – 25 кА. Впровадження вимикачів серії ВМТ дозволило припинити виробництво бакових вимикачів типів МКП-110 і У-220.

#### **1.4 Робоче завдання**

1.4.1 Вивчити конструкцію наявних в лабораторії ММВ.

1.4.2 Використовуючи важелі управління, провести вмикання і вимикання вимикачів ВМП–10 і ВК–10. Звернути увагу на шлях струму у включеному стані цих вимикачів.

1.4.3 Вказати в звіті:

- основні елементи вимикача ВМП–10;
- основні елементи вимикача ВК–10.

#### **Контрольні питання**

1. Назвіть характерні конструктивні особливості всіх типів ММВ.
2. Поясніть процес гасіння дуги в дугогасильній камері ВМП–10 і ВК–10.
3. Які особливості гасіння дуги при відключенні малих струмів?
4. Поясніть призначення металевого стакану з повітряною подушкою у вимикача ВМП–10.
5. Які конструктивні особливості вимикачів типу ВК–10?
6. У яких випадках доцільне розділення функцій робочих (головних) і дугогасильних контактів?
7. Як здійснюється злив шлаку (осадку масла) і доливання свіжого масла у вимикач?
8. Поясніть призначення і дію масловіддільників.
9. Назвіть основні елементи вимикача ВММ–10.
10. Вкажіть основні елементи вимикача ВМТ–110.

## Лабораторна робота № 2

### ВИСОКОВОЛЬТНИЙ ВАКУУМНИЙ ВИМИКАЧ ВВВ–10

#### 2.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії і будову вакуумного вимикача (ВВ), електромагнітного привода й елементів схеми керування. Ознайомитися з призначенням і основними технічними даними ВВ типу ВВВ–10–4–400.

#### 2.2 Домашнє завдання

1. Вивчити будову вакуумної камери за підручником.
2. Письмово відповісти на такі питання:
  - 1) Принцип дії вакуумного вимикача.
  - 2) Як забезпечується герметичність вакуумної камери?
  - 3) З яких матеріалів виготовляються контакти вакуумної камери?
3. Вивчити опис лабораторного стенду.

#### 2.3 Будова вимикача

Найбільш доцільною альтернативою масляним вимикачам є вакуумні вимикачі. У ВВ гасіння дуги відбувається в глибокому вакуумі. Прекрасні дугогасильні властивості цього середовища дозволили створити вимикачі на напругу 6–110 кВ, які завдяки своїм перевагам витісняють повітряні, масляні, електромагнітні вимикачі.

Переваги вакуумних вимикачів:

- 1) відсутність необхідності заміни й поповнення дугогасильного середовища, компресорних установок і масляного господарства;
- 2) висока зносостійкість при комутації номінальних струмів і струмів КЗ;
- 3) мінімум обслуговування, зниження експлуатаційних витрат (майже в 2 рази в порівнянні з існуючими). Термін служби 25 років;
- 4) швидке відновлення електричної міцності дугогасного проміжку  $(10\text{--}50) \cdot 10^3 \text{ В/мкс}$ ;
- 5) повна вибухо- і пожежебезпека;
- 6) надійна робота у випадку, коли в процесі відключення малого струму в колі виникає струм КЗ (дугогасні пристрої масляних вимикачів зазвичай розриваються);
- 7) широкий діапазон температур навколишнього середовища, у якому можлива робота вакуумних дугогасних камер (ВДК) (від  $-70$  до  $+200^{\circ} \text{C}$ );
- 8) підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень;
- 9) довільне робоче положення ВДК;

10) безшумність, чистота, зручність обслуговування, зумовлені малим виділенням енергії в дузі й відсутністю зовнішніх ефектів при відключенні струмів КЗ;

11) відсутність забруднення навколишнього середовища;

12) порівняно мала маса й габаритні розміри й невеликі динамічні навантаження на конструкцію й фундамент;

13) висока швидкодія;

14) можливість організації високоавтоматизованого виробництва.

Для одержання швидкодії у ВДК знайшла широке застосування торцева контактна система. Вона дає можливість мати малий хід контактів і невеликий власний час відключення. Проста конструкція контакту дозволяє створити технологію, при якій добре дегазуються струмопровідні елементи вимикача, що дуже важливо для забезпечення високого вакууму великої стабільності.

Як відомо, торцевий контакт має високий перехідний опір і, отже, більші теплові втрати при номінальних струмах 2000–4000 А. Через те, що контактні стрижні розташовуються у вакуумі, віддача теплоти відбувається в основному за рахунок теплопровідності уздовж тіла контакту й передачі теплоти в навколишнє середовище через зовнішні контакти вимикача й приєднані до них шини. Частина теплоти, що виділяється в перехідному контакті й тілі контактів, віддається випромінюванням.

Велика потужність, яка виділяється в торцевому контакті, також пов'язана з тим, що для забезпечення високої динамічної стійкості контактної системи й великого номіналу струму застосовується вольфрам або металокераміка на його основі. Ці матеріали завдяки своїм фізичним властивостям дають високий перехідний контактний опір. Зовнішній приєднувальний контакт виконується із посрібленої міді й має граничну припустиму температуру 105<sup>0</sup>С. Якщо температура навколишнього середовища дорівнює 40<sup>0</sup>С, то потужність, що підводиться до зовнішнього контакту повинна бути розсіяна при перепаді температури 65<sup>0</sup>С. При торцевому контакті вдається утримати температуру в зазначених межах при струмі  $I_{\text{ном}} = 600\text{--}700$  А. При збільшенні номінального струму втрати різко зростають, що приводить до необхідності застосування контактного стрижня більшого перерізу. Для зменшення температури зовнішнього контакту вимикача він приєднується до кола декількома мідними шинами з розвинутою поверхнею.

Найбільш доцільно для торцевих контактів використовувати вольфрам. Вольфрамові контакти стійкі проти зварювання і дають найбільший струм відключення. Однак у міру розвитку ВДК у вольфраму був виявлений ряд недоліків. При відключенні навантаження з великим хвильовим опором були виявлені значні перенапруги, які часто приводили до пробою ізоляції

устаткування, що відключається. Справа в тому, що завдяки фізичним властивостям вольфраму при малих струмах різко падає щільність його пари у вакуумній дузі. Через це дуга горить нестабільно і обривається раніше, ніж струм підійде до нуля (цей струм називається струмом зрізу). На навантаженні виникає напруга  $U = i_{зр} \sqrt{L/C}$ , де  $i_{зр}$  – струм зрізу,  $L$  і  $C$  – відповідно індуктивність і ємність кола, що вимикається. У мідних контактів також спостерігаються зрізи струму, але струм у багато разів менший, ніж у вольфрамових. Для зменшення струму зрізу у матеріал вольфрамових контактів додається добавка сурми 4–5 %. При цьому струм зрізу зменшується до 4 А. Однак такий спосіб обмеження перенапруг застосовується тільки у вакуумних контакторах, тому що у вимикачах на більші струми в процесі відключення сурма, з'єднуючись із міддю контактів, збільшує перехідний опір і нагрівання контактів номінальним струмом.

У потужних вакуумних вимикачах застосовуються мідні контакти. Для обмеження перенапруг при відключенні навантаження з великим значенням  $\sqrt{L/C}$  застосовуються шунтувальні ланцюжки або нелінійні обмежувальні опори – варистори. Струм  $i_{зр}$  повинен бути менш 4–5 А. Опори включаються між проводами фази й землею.

Для одержання високого значення струму відключення необхідно домогтися рівномірного розподілу теплового потоку дуги площею контакту. Для цього на дугу впливають магнітним полем. Якщо таких заходів не вживати, дуга концентрується на невеликій точці діаметром 1–3 см і струм відключення падає до 5–10 кА навіть при великому діаметрі контакту.

Для збільшення струму відключення інколи з'єднуються декілька камер паралельно.

У перших зразках ВДК усередині камери знаходились тільки контакти. Пари металу електродів, що випаровуються при відключенні, осаджувалися на внутрішній поверхні ізоляційного корпусу дугогасного пристрою. Відбувалося перекриття ізоляції апарата. У зв'язку із цим були введені металеві екрани. Екрани надійно захищали корпус від пари металу, але розподіл напруги усередині камери був недостатньо рівномірним і мали місце випадки пробоїв усередині ВДК після того, як процес дугогасіння вже закінчувався. У зв'язку із цим були розроблені екрани, що дозволяють вирівняти напруженість електричного поля в ВДК. Електрична міцність між контактами дугогасного пристрою апарата на початку з ростом відстані збільшується, а потім росте незначно через неоднорідність поля. Тому підвищення електричної міцності дугогасного пристрою відбувається не за рахунок збільшення відстані між електродами, а за рахунок вирівнювання електричного поля. Застосування екранів дозволяє скоротити осьову довжину ВДК й одержати необхідну



електричну міцність. Герметичність дугогасильних камер забезпечується за допомогою сифону, що створює герметичне рухоме з'єднання і через який проходить рухомий контакт.

На рисунку 2.1 показано розріз вакуумної дугогасильної камери, що використовується у вакуумному вимикачі.

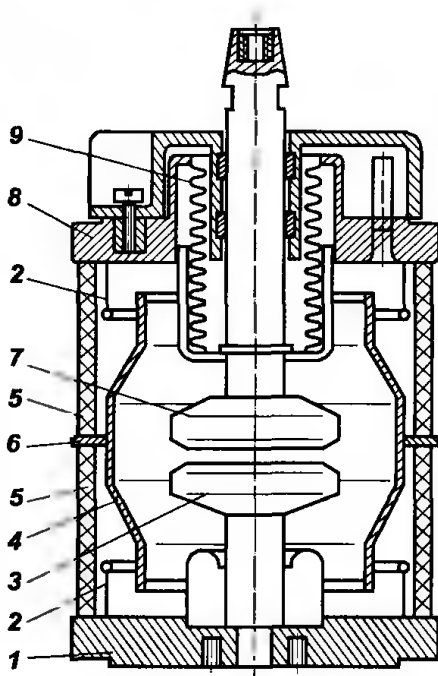


Рисунок 2.1 – Розріз вакуумної дугогасильної камери:

- 1, 8 – фланці; 2, 4 – електростатичні екрани; 3 – нерухомий контакт;  
5 – керамічний ізолятор; 6 – металеві прокладки; 7 – рухомий контакт;  
9 – сифон

У даній роботі вивчається вакуумний вимикач типу ВВВ–10 – швидкодіючий, триполюсний, внутрішньої установки, з окремим електромагнітним приводом, що забезпечує багаторазове швидке автоматичне повторне вмикання, дистанційне керування від кіл оперативного керування і відключення від релейного захисту, призначений для комутації трифазних електричних кіл напругою 10 кВ промислової частоти.

Вимикач розрахований на розміщення в комплектних розподільних установках (КРУ). Вимикач виготовлений у кліматичному виконанні В2 і може працювати при температурах від +55°С до -40° С, відносній вологості повітря від 40% до 85%. Живлення кіл керування вимикача здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В, 50 Гц.

Основні електричні дані:

- номінальна напруга 10 кВ;
- найбільша робоча напруга 12 кВ;

- номінальний струм 400 А;
- номінальний струм відключення 4 кА;
- повний час відключення – не більш 25 мс;
- власний час відключення – не більш 15 мс;
- комутаційний ресурс при відключенні номінального струму до 5000 операцій;
- комутаційний ресурс при відключенні номінального струму відключення – 100 операцій;
- механічний ресурс – 50000 циклів;
- струм споживання – не більш 15 А при 220 В;
- маса – не більш 55 кг.

#### Будова вимикача

Вимикач складається власне з вимикача і привода, зв'язаних тягою (рис. 2.2). На рамі вимикача встановлені три пари опорних ізоляторів.

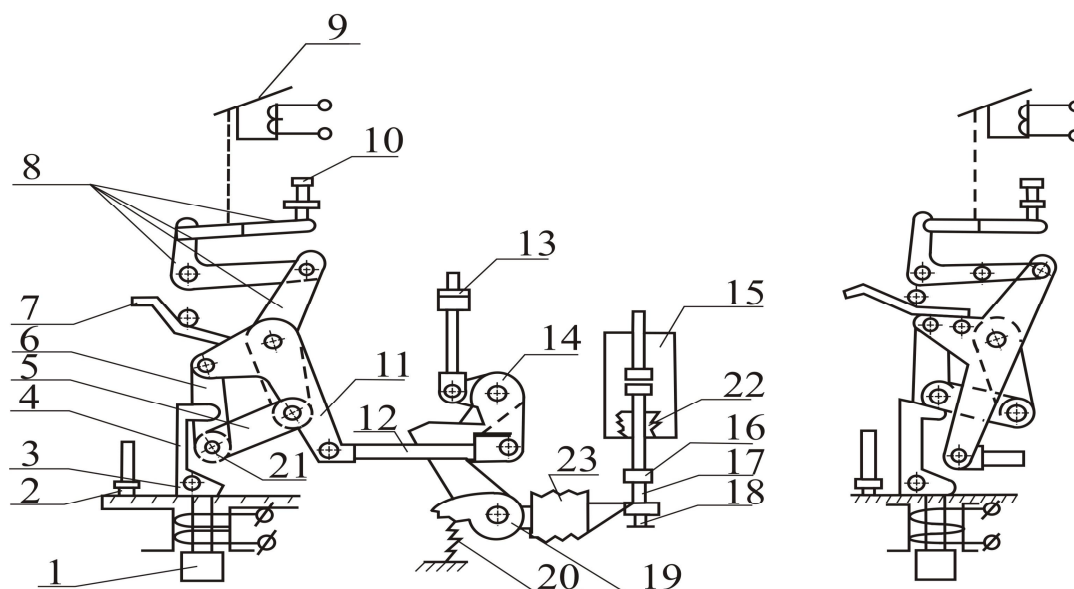


Рисунок 2.2 – Кінематична схема вимикача:

1 – електромагніт вмикання, 2 – гвинт регулювання пружини защіпки, 3 – пружина защіпки, 4 – защіпка, 5, 6, 8 – ланки, 7 – важіль приводу блоку контактів, 9 – електромагніт вимикання, 10 – гвинт регулювання зусилля вимикання, 11 – важіль, 12 – тяга, 13 – демпферний пристрій, 14 – вал проміжний, 15 – камера дугогасильна, 16 – гайка регулювання підтискання контактів, 17 – пружина підтискання контактів, 18 – тяга, 19 – головний важіль, 20 – пружина відключення, 21 – вісь, 22 – сильфон, 23 – важіль – ізолятор.

За допомогою кронштейнів на ізоляторах закріплені вакуумні дугогасильні камери 7. На рамі закріплені опори, в яких установлені головний і проміжний вали 14, 19. На головному валу закріплені: три важелі – ізолятори 23, зв'язані механізмами дотискання з виводами рухомих контактів камер 6; три важелі 19, в

які упираються поворотні пружини 20; приводний важіль, зв'язаний через проміжну ланку з приводним важелем проміжного вала 14. На проміжному валу 14 розміщений важіль, зв'язаний тягою 12 з приводом.

Вимикач містить: шини, жорстко зв'язані з нерухомими контактами камер 15; шини з гнучким струмовідводом від рухомих контактів камер 15; підпружинену тягу 4 з регульованим упором, зв'язану з проміжним валом і обмежувач переміщення приводного важеля головного вала (демпферний пристрій) 13; міжполюсні ізоляційні перегородки.

Механізм дотискання полюса вимикача складається з тяги, пружини дотискання, спецгайки і контргайки.

Привод складається з литого корпусу, в якому закріплені: котушка електромагніта вмикання, всередині якого переміщується якір з укріпленням на ньому штовхачем; механізм вільного розчіплювання, що складається з системи ланок, що займають під впливом зовнішніх сил два фіксованих положення. З одною з ланок механізму шарнірно з'єднана тяга, зв'язана з вимикачем; механізм затримки якоря електромагніта вмикання; важіль ручного вмикання; важіль перемикавання блок-контактів; показчик стану вимикача; регульовальний гвинт; блок-контакти; панель елементів схеми керування.

При подачі напруги на обмотку електромагніта вмикання, струм в обмотці, наростає за експонентним законом. Якір електромагніта починає рух і впливає на ролик, установлений на осі, що з'єднує ланки механізму вільного розчіплювання. При переміщенні вгору вісь упирається в нижню частину зуба підпружиненої заціпки, що загальмовує рух якоря. При подальшому наростанні струму (приблизно до 12–14 А), зусилля, що розвивається електромагнітом, збільшується і вісь відводить заціпку вліво. При цьому знімається гальмування якоря електромагніта, його штовхач повертає ланку за годинниковою стрілкою і передає рух на праве плече важеля. Важіль через тягу повертає важіль, установлений на проміжному валові. Вал повертається за годинниковою стрілкою, зусилля через проміжну ланку передається на важіль, який при цьому повертає головний вал вимикача проти годинникової стрілки. Установлені на валу ізолятори повертаються проти годинникової стрілки і закріпленими на них кронштейнами стискають пружини, установлені на тязі, що йде до рухомих контактів дугогасильних камер. Наприкінці ходу штовхача електромагніта вмикання під вісь попадає заціпка і механізм вільного розчіплювання виявляється у верхньому зафіксованому положенні. Вимикач ввімкнений.

При подачі команди на вимкнення спрацьовує електромагніт і згинає пари ланок, розташованих у верхній частині механізму вільного розчеплення,

вісь яких до цього знаходилася в мертвій точці. Ланки складаються, вісь зіскакує з зачіпки, звільняється важіль і вимикач вмикається.

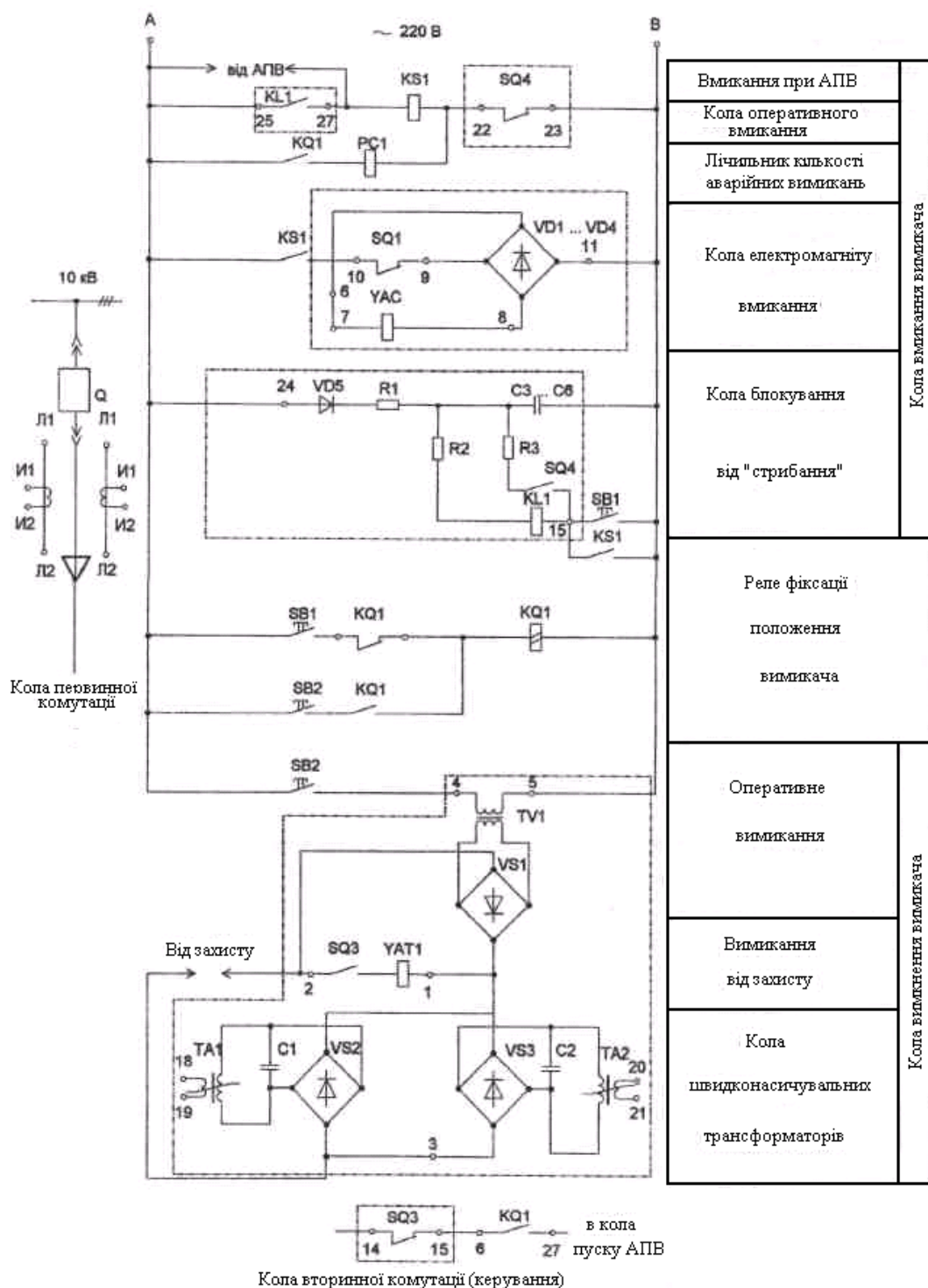
### *Схема управління*

Схема кіл управління вимикачем наведена на рисунку 2.3. При натисканні кнопки SB1 від попередньо заряджених по колу VD5–R1 конденсаторів C3–C6 спрацьовує герконове реле KL1 і своїми контактами замикає коло живлення котушки магнітного пускача KS1. Одні контакти пускача KS1 шунтують SB1, інші – подають напругу на випрямний міст VD1–VD4, що живить електромагніт вмикання YAC. Електромагніт вмикання спрацьовує. Наприкінці ходу на вмикання розмикаючі блок-контакти вимикача SQ4, відключають котушку KS1. Замикаючі контакти SQ4 по колу R3–SQ4–KS1 остаточно розряджають конденсатори C3–C6, обмотка реле KL1 знеструмлюється і його контакти відключають котушку вмикання пускача KS1. Електромагніт вмикання YAC знеструмлюється блок-контактами SQ1.

Якщо вимикач ввімкнувся на коротке замикання і релейний захист миттєво або з невеликою витримкою часу його відключив, то повторного вмикання не відбудеться, тому що конденсатори C3–C6 наприкінці вмикання виявляються розрядженими, реле KL1 не може спрацювати. Таким чином, здійснюється заборона багаторазового включення вимикача, тобто блокування від «стрибання».

При оперативному відключенні вимикача за допомогою кнопки SB2 електромагніт вмикання YAT1 живиться постійним струмом від моста VS1, підключеного до вторинної обмотки трансформатора VT1. При відключенні від релейного захисту YAT1 одержує постійний струм від мостів VS2 і (або) VS3, підключених до вторинних обмоток швидконасихувальних трансформаторів струму ТА1 і ТА2, первинні обмотки яких підключаються до вторинних обмоток високовольтних трансформаторів струму ТАА, ТАС фаз А і С відповідно (рис. 2.3). Така система живлення котушки, яка відключає YAT, забезпечує надійне вимикання вимикача при коротких замиканнях у первинному колі, коли напруга живлення оперативних кіл знижується нижче припустимої. Коло живлення електромагніту YAT1 замикається блок-контактами SQ3.

При натисканні кнопок вмикання і вимикання спрацьовує двопозиційне реле KQ1, контакти якого разом із блок-контактами вакуумного вимикача Q створюють кола «невідповідності» стану схеми керування положенню вимикача, що використовуються в колі живлення лічильника числа аварійних відключень вимикача і для запуску пристрою автоматичного повторного включення.



переміщається по периферії контактів з високою швидкістю, що не викликає появи великих розплавлених зон на контактах.

2. Визначити замикання й одночасність замикання контактів усередині вакуумних камер для чого зібрати схему, наведену на рисунку 2.4.

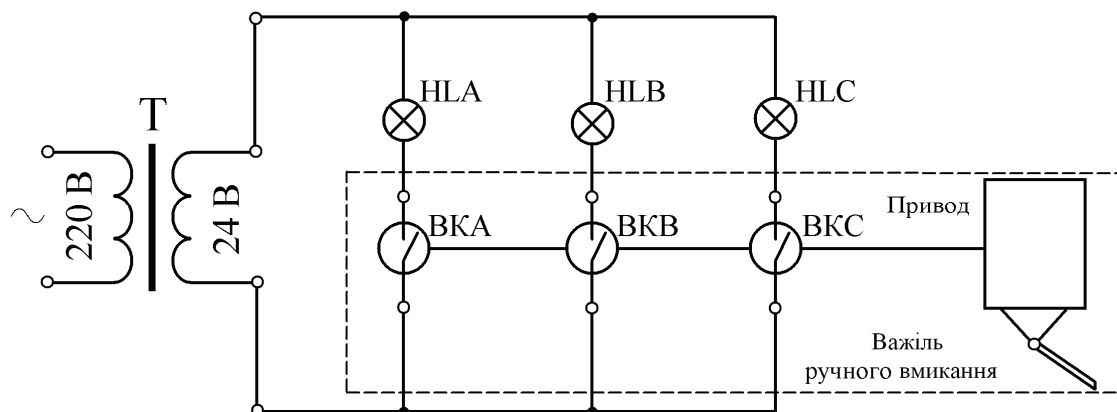


Рисунок 2.4 – Схема для перевірки одночасності замикання контактів

Одягнувши на важіль, розташований у нижній частині привода відрізок труби, плавно натискаючи на нього включити вакуумний вимикач, спостерігаючи за світінням лампочок. Результати спостереження і схему контролю замикання головних контактів привести в звіті.

3 Перевірити роботу вимикача при різних напругах живлення оперативних кіл: 175 В, 220 В, 242 В.

При кожній напрузі зробити по три вмикання. Для цього оперативні кола живити через ЛАТР. Результати навести в звіті.

4. Перевірити операцію вимикання при напругах живлення оперативних кіл: 143 В, 220 В, 242 В. При цьому включати ВВ необхідно вручну, а відключати за допомогою кнопки вимикання SB2 (рис. 2.3 ).

Вимикання виконати при кожній напрузі тричі. Результати привести в звіті.

### Контрольні питання

1. Наведіть переваги та недоліки високовольтних вакуумних вимикачів.
2. Визначте сферу застосування вакуумних вимикачів.
3. Поясніть призначення екрану всередині вакуумної камери.
4. Для чого торцеві контакти вакуумної камери мають розрізи?
5. Яким чином відводиться тепло від торцевих контактів вакуумних вимикачів?
6. За рахунок чого забезпечується герметичність вакуумної камери?

## Лабораторна робота № 3

### ВИМИКАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ І РОЗ'ЄДНУВАЧІ ВНУТРІШНЬОЇ УСТАНОВКИ

#### 3.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії і конструкцію вимикачів навантаження і роз'єднувачів, які застосовуються в закритих розподільних установках (ЗРУ); освоїти основні положення теорії, що використовується при створенні і експлуатації вказаних апаратів.

#### 3.2 Домашнє завдання

3.2.1 Вивчити питання теорії створення і експлуатації вимикачів навантаження і роз'єднувачів, що використовуються в ЗРУ [1].

3.2.2 Вивчити будову дугогасильної камери автогазового вимикача типу ВН-16;

3.2.3 Вивчити схеми, що пояснюють використання роз'єднувачів для ізоляції вимикача від суміжних частин розподільної установки і використання роз'єднувачів при перемиканні приєднань розподільної установки під струмом.

#### 3.3 Опис лабораторного стенду

Лабораторний стенд складається з елементів і ескізів вимикача навантаження типу ВН і роз'єднувачів типу РВО, РВ і РВЗ. Вимикач навантаження в зібраному вигляді змонтований у моделі одно трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.

##### *Автогазовий вимикач навантаження*

Вартість розподільної установки з вимикачами досить висока. У тому випадку, коли номінальний струм установки невеликий, вимикач з релейним захистом можна замінити вимикачем навантаження і запобіжником. Вимикач навантаження розрахований на відключення робочого струму. Струм короткого замикання таким вимикачем не відключається, проте його здатність вмикання зі всіма типами приводів, за винятком ручних, повинна бути не нижчою відповідної динамічної стійкості при наскрізних струмах к.з. Для відключення струмів к.з. звичайно застосовують запобіжники високої напруги, що з'єднуються послідовно з вимикачем навантаження.

В основі роботи автогазового вимикача навантаження (рис. 3.1) лежить принцип гасіння дуги за рахунок потоку газів, що утворюються при дії дуги на стінки камери з газогенеруючого матеріалу (органічне скло, вініпласт).

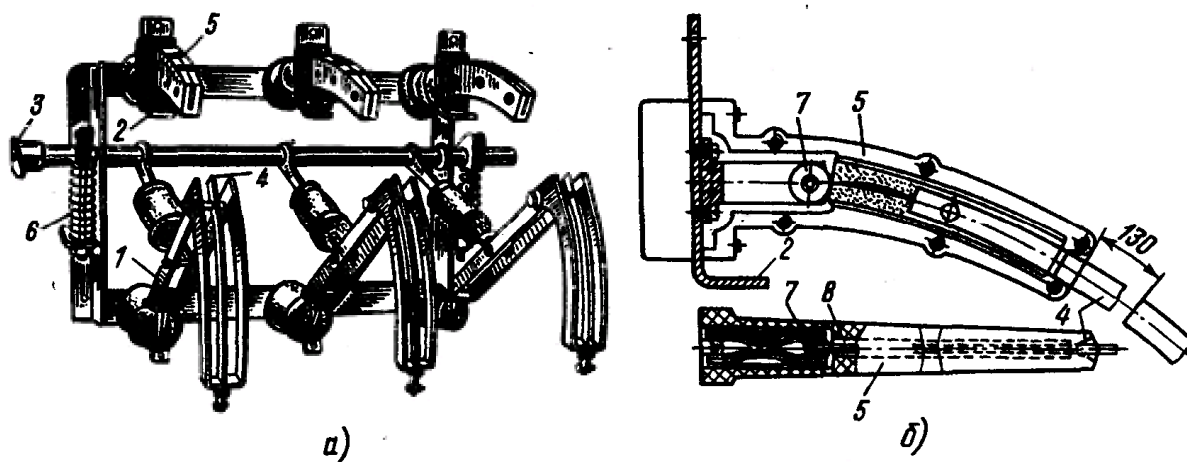


Рисунок 3.1 – Вимикач навантаження з гасильними пристроями газогенеруючого типу:

а) загальний вигляд вимикача; б) гасильна камера

1 – ножі роз'єднувача; 2 – контакти роз'єднувача; 3 – вал роз'єднувача;  
4 – допоміжні ножі; 5 – гасильна камера; 6 – пружина; 7 – ковзні контакти  
дугогасильних камер; 8 – вставки з органічного скла.

Вимикач має систему головних контактів і дугогасильний рухомий контакт, що входить в щілину дугогасильного пристрою (ДУ). При відключенні спочатку розмикаються головні, а потім дугогасильні контакти. У вузькій щілині ДУ створюється інтенсивне подовжнє дугтя, що викликає гасіння дуги струму, що відключається, і для вимикача цього типу складає 200–400 А.

У відключеному положенні між нерухомим і рухомим контактами створюється видимий розрив, тобто одночасно поєднуються функції вимикача і роз'єднувача.

Допустима кількість відключень без заміни дугогасильних вкладишів і контактів визначається ступенем зносу вкладишів і дугогасильних контактів. При напрузі 10 кВ такий вимикач навантаження може відключити струм 200 А 75 разів, а струм 400 А – тільки 3 рази.

### *Роз'єднувачі*

Роз'єднувач – це комутаційний апарат, що використовується для вмикання і вимикання електричних кіл в умовах, коли на його контактах не виникає довга відкрита електрична дуга. У вимкненому положенні роз'єднувача на його контактах створюється видимий розрив. У роз'єднувача відсутній дугогасильний пристрій. За цих умов дуга, яка виникає на контактах, гаситься в результаті її розтягування ножем рухомого контакту, тепловими потоками або електромагнітними силами досягши критичної довжини, яка залежить від струму, що відключається, і напруги мережі.



Роз'єднувачі класифікують за конструктивними і деякими іншими ознаками (за характером руху рухомого контакту, родом установки, числом полюсів, способом управління, наявністю або відсутністю заземлювальних ножів).

Для внутрішніх установок роз'єднувачі можуть бути однополюсними (РВО) (рис. 3.2) або трьохполюсними (РВ, РВК, РВРЗ і ін.).

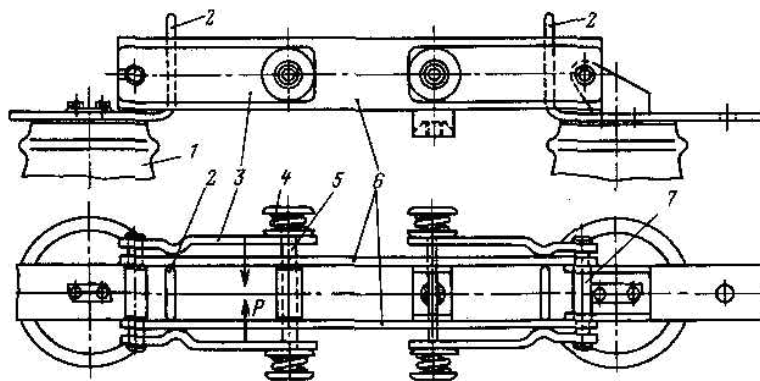


Рисунок 3.2 – Роз'єднувач вертикально рубаючого типу РВ:

1 – ізолятор; 2 – нерухомий контакт; 3 – сталеві пластини; 4 – пружина,  
5 – сталевий стрижень; 6 – пластини ножа; 7 – вісь.

У роз'єднувачів рубаючого типу ніж обертається навколо одного з нерухомих контактів, рух ножеві передається від валу через фарфорову тягу. Необхідний тиск в контактах створюється пружинами.

На ізоляторі 1 закріплена мідна шина, зігнута під прямим кутом, яка є нерухомим контактом 2. Бічні частини контакту 2 оброблені під циліндричну поверхню, тому з пластинами ножа 6 утворюється лінійний контакт. Пружини 4, насаджені на стрижень 5, натискають на сталеві пластини 3, які своїм виступом притискають ножі до нерухомого контакту. Чим більший тиск у контакті, тим менший перехідний опір, але більше зношення контактів за рахунок тертя при включеннях і відключеннях і тим більше зусилля треба докласти при операціях з роз'єднувачем.

При проходженні струмів КЗ створюються електродинамічні зусилля в місцях переходу струму з пластин ножа в контакт, які прагнуть відштовхнути ножі від контакту. З другого боку, пластини ножа притягуються одна до одної завдяки взаємодії струмів одного напрямку. При великих струмах КЗ сили відштовхування можуть виявитися більшими, ніж сили притягання пластин ножа, це приведе до відкидання пластин ножа від контакту, виникнення дуги, тобто до аварії. Щоб уникнути цього в роз'єднувачах передбачається наявність магнітного замку. Він складається з двох сталевих пластин 3, розташованих зовні ножа, які, по-перше, слугують для передачі тиску від пружин, а по-друге,

намагнітившись струмами КЗ, притягуються одна до одної і створюють додатковий тиск в контакті.

Контактна система роз'єднувача на другому ізоляторі має таку ж конструкцію, але контакти ковзні, шарнірні, а не такі, що розмикаються, оскільки ніж обертається навколо осі 7.

Трьохполюсні роз'єднувачі внутрішньої установки серії РВ складаються з трьох струмопроводів, змонтованих на одній рамі із загальним валом і приводним важелем. Кожен полюс має два нерухомі опорні ізолятори і фарфорову тягу, приєднану до загального валу. Ножі приводять в рух важелем.

Роз'єднувачі із заземлювальними ножами РВЗ (рис. 3.3) залежно від варіанту виконання мають один або два вали із заземлювальними ножами, які кріпляться до рами.

Заземлюючі ножі можуть бути розташовані з боку шарнірного або роз'ємного контакту або з обох боків. При трьохполюсній установці вони закорочуються загальною мідною шиною.

Заземлюючі ножі мають механічне блокування, що не дозволяє вмикати їх при ввімкнених головних ножах. Для управління заземлюючими ножами використовується ручний привід важеля, який складається із системи важелів, що передають рух від рукоятки до валу (ПР), або черв'ячний привід (ПЧ). Включення і відключення головних ножів здійснюється електроприводом (ПДВ), що дозволяє виконувати ці операції дистанційно. Заземлювальні ножі замикають додаткові заземлювальні контакти, закріплені під основними нерухомими контактами. Роз'єднувачі цього типу можуть бути виконані і з прохідними ізоляторами замість опорних (серія РВФ) з аналогічними технічними даними. На рисунку 3.4 наведено роз'єднувач трьохполюсний серії РВРЗ–10.

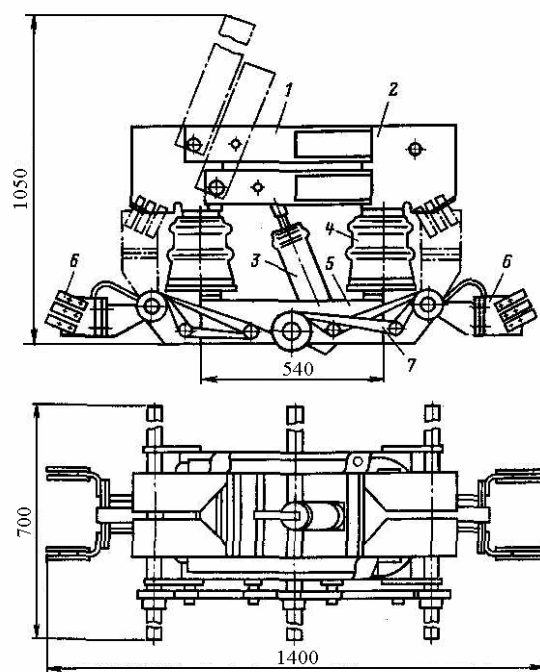


Рисунок 3.3 – Роз’єднувач рубаяючого типу для внутрішньої установки з двома заземлюючими ножами РВРЗ-2-20/8000:  
 1 – головні рухомі контакти; 2 – нерухомі контакти; 3 – фарфорова тяга; 4 – опорний ізолятор; 5 – рама; 6 – заземлюючі ножі; 7 – блокування

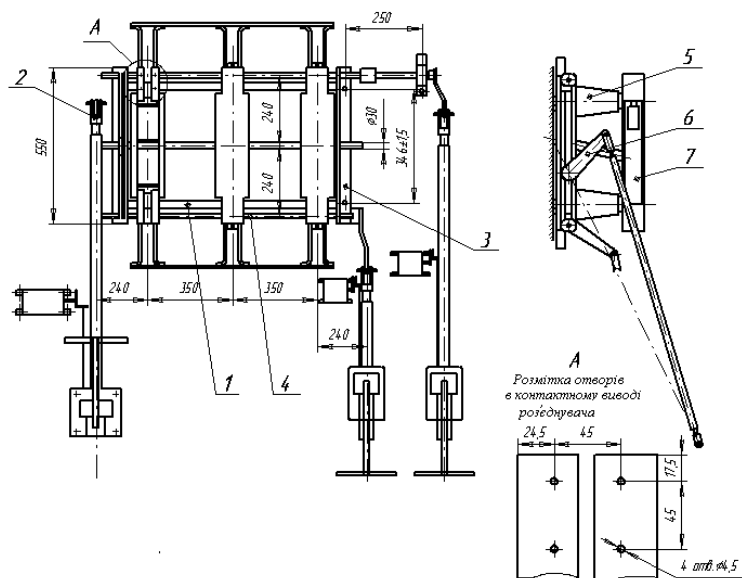


Рисунок 3.4 – Роз’єднувач трьохполюсний серії РВРЗ-10:  
 1 – болт заземлення; 2 – важіль; 3 – основа; 4 – вал заземлення;  
 5 – ізолятор опорний; 6 – тяга ізоляційна; 7 – ніж контактний

### **3.4 Робоче завдання**

3.4.1 Вивчити конструкції вимикача навантаження типу ВН-16 і роз'єднувача типу РВЗ–10/630.

3.4.2 Вказати в звіті:

- призначення комутаційних апаратів;
- порядок використання роз'єднувачів для перемикачів в приєднаннях розподільних установок під струмом;
- основні елементи вимикача навантаження ВН–16;

3.4.3 За вказівкою викладача провести відповідні операції з роз'єднувачем.

3.4.4 Накреслити головні контакти роз'єднувача типу РВ з укріпленими на рухомому ножі сталевими пластинами. Пояснити принцип дії магнітного замка.

### **Контрольні питання**

1. Яких типів і на які номінальні напруги і струми в даний час випускають вимикачі навантаження?

2. Яке призначення вимикачів навантаження і сфера їхнього застосування?

3. Чому вимикач навантаження типу ВН–16 часто називають автогазовим вимикачем?

4. Поясніть принцип дії ДУ вимикача навантаження ВН–16.

5. В чому полягає основна відмінність дугогасильних камер вимикачів навантаження від дугогасильних камер вимикачів?

6. Які способи гасіння дуги використовуються в автогазових і електромагнітних вимикачах навантаження і в чому вони полягають?

7. У чому полягає основне призначення роз'єднувачів і чому вони не мають дугогасильних пристроїв?

8. Яким чином заземлювальні ножі з'єднуються з «землею»?

9. Які вимоги ставляться до роз'єднувачів у включеному і відключеному стані?

10. Що таке магнітний замок у роз'єднувача і яке його призначення?

11. Чи можна використовувати роз'єднувачі в ЗРУ для ввімкнення і вимкнення вимірювальних трансформаторів напруги і ненавантажених силових трансформаторів (певної потужності).

## **Лабораторна робота № 4**

### **ПЛАВКІ ЗАПОБІЖНИКИ**

#### **4.1 Мета роботи**

Вивчити конструктивні особливості плавких запобіжників і освоїти методику їхнього вибору.

#### **4.2 Домашнє завдання**

4.2.1 Вивчити за підручником будову плавких запобіжників [1, § 12-3].

4.2.2 Записати умови вибору плавких запобіжників.

4.2.3 Вивчити опис лабораторного стенду.

#### **4.3 Опис лабораторного стенду**

На лабораторному стенді представлені зразки запобіжників типу ПР, ПН і НПН, що набули поширення в мережах до 1000 В, і типу ПК, що використовуються в мережах вище 1000 В. Крім стенда в роботі використовується лабораторна установка для зняття струмочасових характеристик плавких вставок.

##### *Запобіжники типу ПР*

Запобіжники із закритими розбірними патронами без наповнювача типу ПР–2 (рис. 4.1) виготовляють на 220 і 500 В; номінальні струми 100–1000 А; струми, що гранично відключаються, при напрузі 380 В і  $\cos\varphi=0.4$ , складають 6–20 кА. Патрон запобіжника ПР–2, розрахований на номінальні струми 100 А і вище, складається з товстостінної фібрової трубки, на яку щільно насаджені латунні втулки, що запобігають від її розриву. На втулки нагвинчені ковпачки, що закріплюють плавку вставку, пригвинчену до ніжок, до установки її в патрон. Щоб уникнути повороту ножів, встановлюють шайбу з фіксуючим пазом. Патрон вставляють в нерухомі контактні стійки, закріплені на ізоляційній плиті. Необхідне контактне натиснення забезпечується кільцевою або пластинчастою пружиною.

Плавкі вставки виготовляють з цинку у вигляді пластини з вирізами. На звужених їх ділянках виділяється більше тепла, ніж на широких. При номінальному струмі надмірне тепло завдяки теплопровідності цинку передається широким частинам, тому вся вставка має приблизно однакову температуру. У разі перевантаження нагрів вузьких ділянок відбувається швидше, і вставки плавляться в найгарячішому місці.

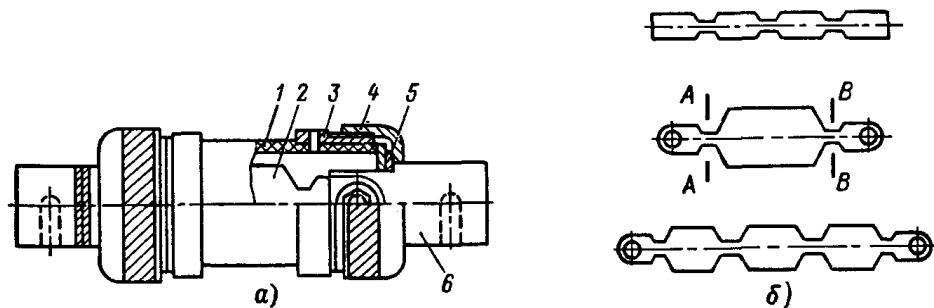


Рисунок 4.1 – Запобіжник типу ПР-2:

а) патрон на номінальні струми 100 – 1000А; б) форми плавких вставок.

1 – фіброва трубка; 2 – плавка вставка; 3 – латунна втулка;

4 – ковпачки для закріплення плавкої вставки;

5 – шайба, яка перешкоджає повороту ножів, 6 – ніж.

При короткому замиканні вставки плавляться у вузьких перерізах. Дуга, що виникає при цьому, викликає утворення газів (50%  $\text{CO}_2$ , 40%  $\text{H}_2$ , 10% пари  $\text{H}_2\text{O}$ ). Тиск залежно від струму, який відключається, може досягати 10 МПа і більше, що забезпечує швидке гасіння дуги і струмообмежувальну дію запобіжника. З метою зменшення виникаючої при відключенні струму к.з. перенапруги вставка має декілька звужених місць, при їх по черговому плавленні повна довжина дугового проміжку вводиться в коло не відразу, а поступово.

### *Запобіжники типу ПН*

Запобіжники типу ПН-2 широко застосовують для захисту силових кіл до 500 В змінного струму і 440 В постійного струму. Їх виконують на номінальні струми 100–600 А (рис. 4.2).

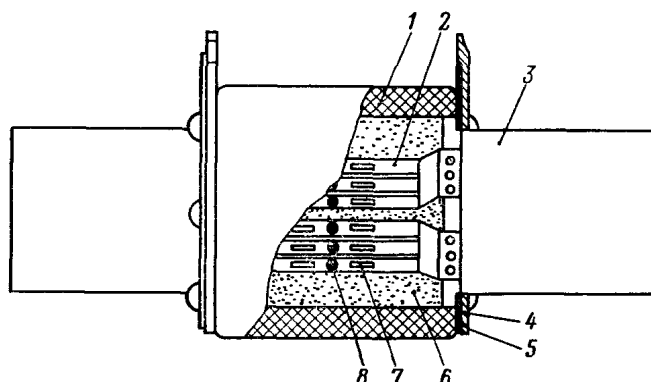


Рисунок 4.2 – Запобіжник типу ПН-2:

1 – порцелянова трубка; 2 – плавка вставка; 3 – контактний ніж; 4 – кришка;

5 – ущільнююча прокладка; 6 – кварцовий пісок; 7 – прорізи; 8 – кульки олова

Фарфорова трубка, квадратна зовні і кругла всередині, має чотири різьбові отвори для гвинтів, за допомогою яких кріпиться кришка з ущільнюючою прокладкою.

Плавка вставка приварена точковою електрозваркою до шайб врубних контактних ножів. Кришки з азбестовими прокладками герметично закривають трубку, яка заповнена сухим кварцовим піском. Плавка вставка виконана з однієї або декількох мідних стрічок завтовшки 0,15–0,35 мм і шириною до 4 мм. На вставці зроблені прорізи, які зменшують перерізи вставки в 2 рази. Для зниження температури плавлення вставки використовують «металургійний ефект» – на смужки міді напаяні кульки олова. Температура плавлення в цьому випадку не перевищує 475<sup>0</sup>С. Дуга виникає в декількох паралельних каналах, що забезпечує найменшу кількість пари металу в каналі між зернами кварцу і якнайкращі умови гасіння дуги у вузькій щілині. Насипні запобіжники так само, як і запобіжники типу ПР, мають струмообмежувальні властивості.

З метою зменшення перенапруг, що виникають при перегоранні плавкі вставки виготовляють з прорізами по довжині, причому їх кількість залежить від номінальної напруги запобіжника (з розрахунку 100–150 В на ділянці між прорізами). Оскільки вставки згорають у вузьких місцях, то довга дуга поділяється на ряд коротких, сумарна напруга на яких не перевищує суми катодних і анодних падінь напруги. Наповнювачем в запобіжниках ПН є чистий кварцовий пісок (99% SiO<sub>2</sub>). Замість кварцу може бути застосована крейда CaCO<sub>3</sub>, яку іноді змішують з азбестовим волокном. При гасінні дуги крейда розкладається з виділенням вуглекислого газу CO<sub>2</sub> і тугоплавкого матеріалу CaO. Реакція відбувається з поглинанням енергії, що сприяє гасінню дуги. Можна використовувати для засипки гіпс CaSO<sub>4</sub> і борну кислоту. Трубки запобіжників можуть виконуватись також із склотканини, просоченої теплостійкими лаками, із стеатиту або виливатися з пластмас або ізоляційних смол.

#### *Кварцовий запобіжник типу ПК*

Кварцові запобіжники, які виготовляються на напругу 3–35 кВ, складаються з двох опорних ізоляторів, контактів, укріплених на ізоляторах, і патрона, що вставляється в контакти (рис. 4.3).

Патрон запобіжника виконаний у вигляді фарфорової трубки із заармованими на її кінцях контактними ковпачками. Плавка вставка залежно від номінального струму складається з одного або декількох посріблених мідних провідників. З метою зниження перенапруг при відключенні струму застосовують вставки змінного перерізу. Для відключення плавкою вставкою струмів перевантаження на меншому перерізі напаяють олов'яні кульки. При цьому середня температура плавлення вставки знижується від температури

плавлення міді ( $1080^{\circ}\text{C}$ ) до температури, що дещо перевищує температуру плавлення олова ( $230^{\circ}\text{C}$ ) внаслідок розчинення міді в розплавленому олові. Після розплавлення мідного дроту в місці розташування олов'яної напайки виникає дуга, яка розплавляє дріт по всій довжині. Кварцовий пісок, що заповнює фарфорову трубку, наливається через отвір, який потім закривається кришкою, що напаяється на ковпачок. У нижній кришці встановлений показчик спрацювання; він за допомогою плавкої вставки стискає пружину в утримувачі. При перегоранні основних плавких вставок згорає і плавка вставка, що утримує показчик. При цьому показчик спрацювання викидається назовні.

У запобіжниках, що працюють в умовах вібрації і ударів, а також в запобіжниках, розрахованих на невеликі номінальні струми (до 8 А включно) і на номінальні напруги до 20 і 35 кВ плавкі вставки намотуються на ребристий керамічний сердечник, який дозволяє збільшити довжину плавкої вставки, а отже, і ефект струмообмеження. Проте при малих перевантаженнях нагрів дроту може викликати утворення провідного каналу на поверхні каркаса і теплове руйнування запобіжника.

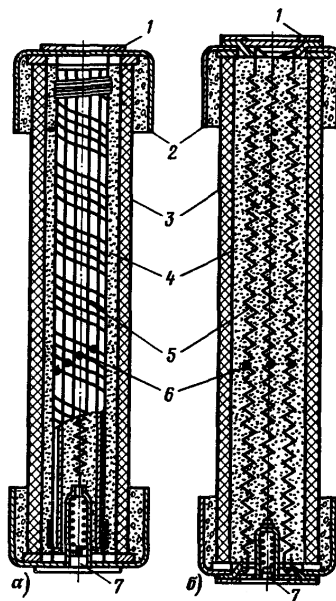


Рисунок 4.3 – Запобіжник типу ПК:

а) на струм до 7,5 А; б) на струм більше 7,5 А

- 1 – торцева кришка; 2 – латунний ковпачок; 3 – порцелянова трубка;  
4 – кварцовий пісок; 5 – плавка вставка; 6 – кульки олова;  
7 – вказівник спрацювання

Кварцовий пісок, який вживається як наповнювач, в нормальному режимі добре відводить теплоту від плавкої вставки, що дає можливість зменшити її переріз, і інтенсивно відводить теплоту від дугового стовпа при перегоранні



плавкої вставки. Але дугогасильні властивості кварцового піску порушуються при попаданні вологи всередину патрона. Тому при виготовленні запобіжників особлива увага приділяється герметизації патрона.

Вибір плавких вставок запобіжників з великою тепловою інерцією у всіх випадках виконують, виходячи з умови

$$I_B \geq I_p \quad (4.1)$$

де  $I_B$  – струм плавкої вставки;

$I_p$  – розрахунковий струм мережі у точці, яка захищається.

При виборі плавких вставок запобіжників з малою тепловою інерцією необхідно враховувати характер навантаження. Якщо пускових піків струму немає, їх вибирають у такий же спосіб, як плавкі вставки запобіжників з великою тепловою інерцією.

Якщо при вмиканні електроприймача виникає великий пік струму, плавку вставку запобіжників з малою тепловою інерцією, для уникнення перегорання при запуску, вибирають за умови:

$$I_B \geq I_{II} / \alpha, \quad (4.2)$$

де  $I_{II}$  – пусковий струм;

$\alpha$  – коефіцієнт, який залежить від умов запуску електродвигуна. При нормальних умовах пуску приймають  $\alpha=2,5$ , а при тяжких умовах пуску більше 2,5; при частих пусках приймають  $\alpha=2 \dots 1,6$ .

Основною характеристикою запобіжника є захисна характеристика, вид якої наведений на рисунку 4.4 ( $I_{ном}$  – номінальний струм плавкої вставки;  $I_{гран}$  – граничний струм (струм, при якому плавка вставка перегоріє за час не менший однієї години).

Залежно від матеріалу вставки граничний струм може перевищувати номінальний на (10 – 70) %.

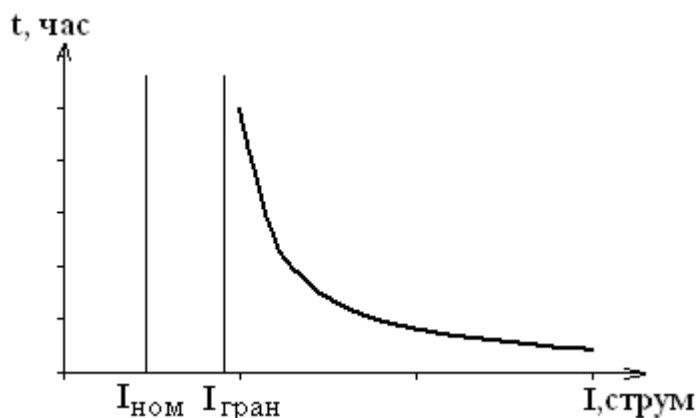


Рисунок 4.4 – Струмо-часова характеристика запобіжника

#### 4.4 Робоче завдання

4.4.1 Вивчити конструкцію і принцип дії плавких запобіжників, розміщених на стенді.

4.4.2 Вказати елементи основних типів запобіжників, представлених на стенді.

4.4.3 Вибрати номінальний струм патрона і плавкої вставки запобіжника типу ПР–2 для кіл номінальною напругою 380 В, робочий струм і струм короткого замикання яких вказаний таблиці 4.1.

4.4.4 Побудувати струмо-часову характеристику плавкої вставки за результатами дослідів.

Таблиця 4.1 – Параметри запобіжників типу ПР–2

Номер варіанту	Параметри кіл		Параметри запобіжників		
	$I_{\text{роб.нб.}}, \text{ A}$	$I_{\text{по}}, \text{ кА}$	$I_{\text{ном.}}, \text{ A},$		$I_{\text{вим.}}, \text{ кА}$
			патрона	вставки	
1	8	1,1			
2	38	3,2			
3	50	9,6			
4	87	11,0			
5	155	5,5			

Для побудови характеристики плавкої вставки необхідно:

1. Зібрати схему, зображену на рисунку 4.5.

За умовами безпеки запобіжники при досліді вміщуються у спеціальну камеру зі скляною передньою стінкою (дверцятами).

2. Помістити в камеру на місце плавкої вставки  $F$  спочатку перемичку і за допомогою автотрансформатора  $Tr1$  установити струм, близький до граничного.

3. Вимкнути установку і замінити перемичку на плавку вставку;

4. Ввімкнути автоматичний вимикач і зафіксувати час перегорання вставки.

5. Аналогічно виконати ще 4...5 дослідів при інших значеннях струму, результати занести в таблицю 4.2.

6. Використовуючи дані таблиці 4.2, побудувати захисну характеристику плавкої вставки і визначити її номінальний струм.

Таблиця 4.2 – Струмо-часова характеристика плавкої вставки

Величина струму, А							
Час перегорання, с							

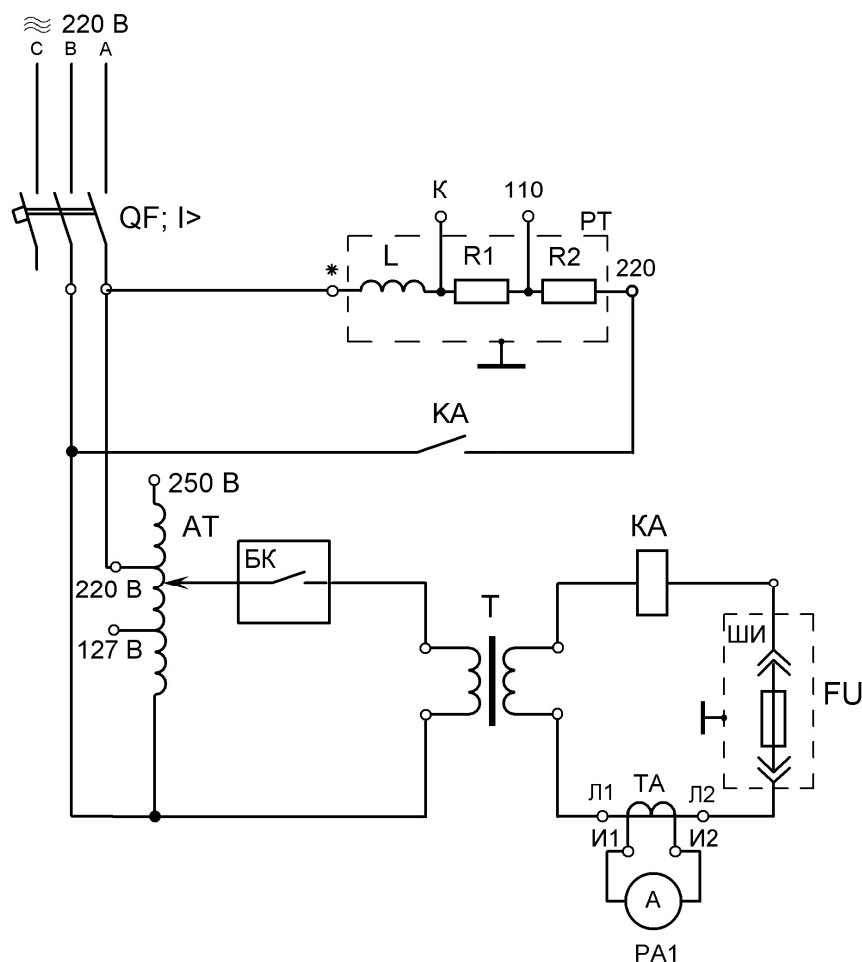


Рисунок 4.5 – Схема дослідної установки

### Контрольні питання

1. Поясніть принцип дії плавкого запобіжника.
2. Вкажіть призначення кварцового піску в запобіжниках насипного типу.
3. У яких запобіжниках і з якою метою на плавкі вставки наплавляють олово?
4. Що таке номінальний струм запобіжника і номінальний струм плавкої вставки?
5. Що називається граничним і номінальним струмом плавкої вставки?
6. Як виконаний показчик спрацьовування в запобіжниках типу НПН–2?
7. Як відбувається гасіння дуги в газогенеруючих запобіжниках?
8. У яких колах вище 1000 В встановлюються запобіжники?
9. Для яких номінальних напруг виконують запобіжники типу ПК?
10. Наведіть переваги та недоліки запобіжників.

## **Лабораторна робота № 5**

### **РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВОЛЬТОДОДАВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

#### **5.1 Мета роботи**

Вивчити принцип дії і схеми вмикання вольтододавального трансформатора, призначеного для регулювання напруги.

#### **5.2 Домашнє завдання**

5.2.1 Вивчити особливості застосування вольтододавальних трансформаторів, зокрема з перемиканням фази.

5.2.2 Письмово відповісти на наступні запитання:

- 1) Чому напруга на виході вольтододавальних трансформаторів з перемиканням фази змінюється ступенями?
- 2) Як вмикаються в мережу вольтододавальні обмотки?
- 3) На яку напругу можуть підключатися обмотки збудження?
- 4) В які схеми можливо з'єднувати обмотки збудження?

#### **5.3 Опис лабораторної установки**

Як модель використовується трифазний двохобмотковий трансформатор з первинною напругою 220/127 В і вторинною – 12 В (рис. 5.1).

Живлення здійснюється від трифазної мережі 220/127 В. Вольтододавальні обмотки позначені великими буквами АХ, ВУ, СЗ – вони вмикаються в розріз лінії. Обмотки збудження позначені прописними буквами ах, бу, сз і з'єднуються в різні групи залежно від необхідної величини надбавки напруги.

#### **5.4 Основні теоретичні положення**

Вольтододавальний трансформатор з перемиканням фази (ФВДТ) є однією з різновидностей ступінчатих реверсивних регуляторів напруги. Це значить, що напруга на його виході змінюється не плавно, а ступенями і, крім того, напруга на виході може бути вищою (добавки напруги позитивні) чи нижчою (добавки напруги негативні) від напруги, яка подається на вхід. Конструктивно ФВДТ являє собою звичайний двохобмотковий трансформатор (рис. 5.1), одна з обмоток якого включена в регульовану мережу послідовно (фазні вольтододавальні обмотки ах, бу, сз), друга паралельно (обмотки збудження АХ, ВУ, СЗ). Обмотки збудження можуть підключатися як на фазну, так і на лінійну напругу.

При такому включенні ФВДТ фазні напруги на його виході (наприклад, 0–2, рис. 5.2) являють собою геометричну суму фазної напруги ( $V_1$ ) на вході і ЕРС ( $V_{1-2}$ ), індуковану у вольтододавальній обмотці.

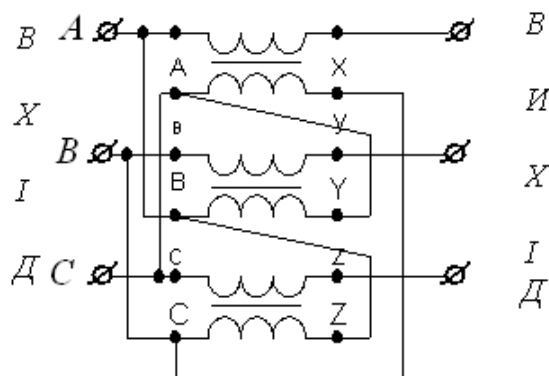


Рисунок 5.1 – Схема вольтододавального трансформатора з перемиканням фаз

Як видно з рисунку 5.2, повертаючи вектор цієї ЕРС навколо точки В1, на виході можна одержати різні значення напруг. При різних способах з'єднання збуджуючих обмоток можна одержати 12 положень зазначеного вектора.

За аналогією зі звичайними силовими трансформаторами, при визначенні добавок напруги, створюваних ФВДТ, зручно користуватися позначенням груп з'єднань обмоток. Непарні групи можна одержати при з'єднанні однієї з обмоток у зірку, а іншої в трикутник, парні групи утворюють однакові схеми з'єднань обмоток, тобто зірка–зірка чи трикутник–трикутник.

Якщо вольтододавальні обмотки включені в зірку, то при з'єднанні збуджувальних обмоток теж у зірку утворюються парні групи. ЕРС, що індукуюється при цьому у вольтододавальних обмотках, позначаємо через  $E_{вд}$ .

При з'єднанні обмоток збудження в трикутник утворюються непарні групи, а ЕРС, що індукуюється у вольтододавальних обмотках, зростає в 1,7 рази.

У зв'язку з тим, що індукована у вольтододавальній обмотці ЕРС складає всього 5–10% від величини вхідної напруги, кут  $\beta$  невеликий, тому величину вихідної напруги  $U_{вих}$  (0-2) можна прирівняти до величини його проекції (ОВ2) на напрямок вхідної напруги, тобто

$$U_{вих} \sim U_{ов1} + U_{в1} + U_{в2} = U_{вх} + \Delta U_p, \quad (5.1)$$

де  $\Delta U_p$  – проекція на вісь вхідної напруги вектора ЕРС, індуковану у вольтододавальній обмотці.

Величина цієї проекції дорівнює

$$\text{(парна група)} \quad \Delta U_p = E_{вд} \cos \alpha;$$

$$\text{(непарна група)} \quad \Delta U_p = 1,7 E_{вд} \cos \alpha,$$

що приймається за добавку напруги, створювану ФВДТ.

ФВДТ може створити сім різних за величиною і знаком добавок напруги, які наведені в таблиці 5.1.

При експлуатації ФВДТ у мережах перемикання добавок виконують автоматично залежно від напруги на вході і величини навантаження регульованої лінії.

Таблиця 5.1 – Можливі добавки напруги при різних групах з'єднання

№ п/п	Група з'єднання	Величина добавки
1	0 (XII)	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 0 = E_{вд}$
2	I або XI	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 30 = \sqrt{3}/2 E_{вд}$
3	II або X	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 60 = 1/2 E_{вд}$
4	III або IX	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 90 = 0$
5	IV або VIII	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 120 = -1/2 E_{вд}$
6	V або VII	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 150 = -\sqrt{3}/2 E_{вд}$
7	VI	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 180 = -E_{вд}$

Побудова векторної діаграми. При побудові діаграм необхідно користуватися таким правилом: для того, щоб ЕРС  $E_{вд}$  у вольтододавальній обмотці кожної фази мала бажаний напрямок, до обмотки збудження цієї ж фази повинна бути прикладена напруга, спрямована у бік, протилежний напрямку  $E_{вд}$ . На рисунках 5.2 і 5.4 наведені діаграми напруги для III і XII груп з'єднання.

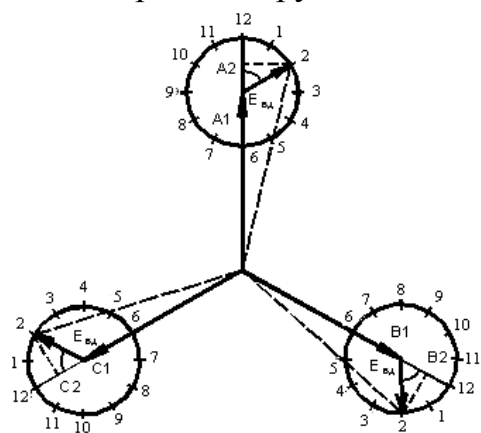


Рисунок 5.2 – Складання схеми включення ФВДТ, що відповідає заданій групі з'єднання обмоток

Схему електричних з'єднань ФВДТ, при якій забезпечується задана надбавка напруги, складають на підставі діаграми напруг, побудованої раніше.

На рисунку 5.3 дана схема вмикання обмоток збудження.

При складанні схеми потрібно керуватися наступним:

а) якщо напруга, яку необхідно підвести до обмотки збудження, збігається за напрямком з однією з напруг на вході ФВДТ, то до початку цієї обмотки приєднується та фаза, до якого спрямований вектор співпадаючої вхідної напруги. Кінець обмотки збудження підключається до фази, від якої цей вектор бере початок. Наприклад, з діаграми на рисунку 5.3 видно, що напруга  $U_{by}$ , яка повинна бути підведена до обмотки збудження фази В, збігається за напрямком з лінійною напругою АС, що має на вході ФВДТ. Тому початок обмотки «В» включають на фазу «а», а кінець «в» – на фазу «С». Аналогічно включають обмотки збудження першої і третьої фаз (дивись рис. 5.3, б, в).

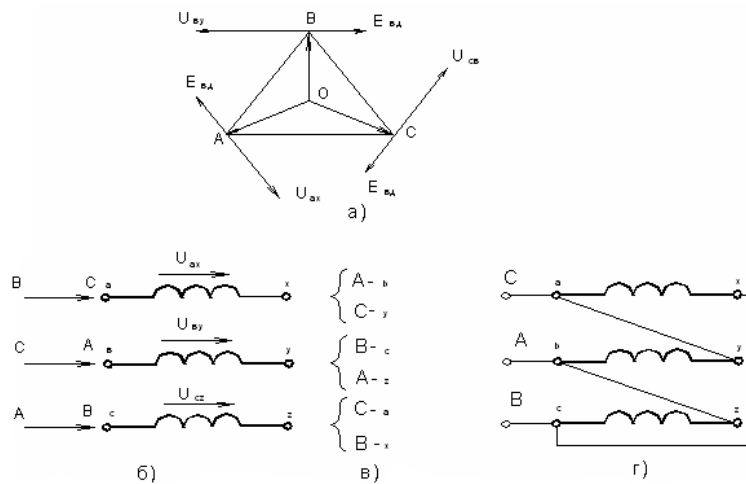


Рисунок 5.3 – Схема вмикання обмоток збудження

б) якщо напруга, яку необхідно підвести до обмотки збудження, збігається з однією з напруг на вході ФВДТ, але спрямована зустрічно, то до кінця цієї обмотки приєднується та фаза, до якої спрямований вектор зустрічної вхідної напруги. Початок обмотки збудження приєднується до фази, від якого цей вектор бере початок. Наприклад, на рисунку 5.4, видно, що напруга  $U_{by}$ , яка має бути підведена до обмотки збудження фази В, збігається з фазною напругою ОВ, але спрямована зустрічно, тому кінець «b» обмотки «бу» включається на фазу В, а початок обмотки «у» повинен мати нульовий потенціал.

На рисунку 5.4 показана послідовність визначення схеми вмикання та схема вмикання, при якій обмотки ФВДТ зібрані в групу XII.

### 5.5 Робоче завдання

Для виконання лабораторної роботи треба попередньо побудувати векторну діаграму з'єднань обмоток збудження ФВДТ.

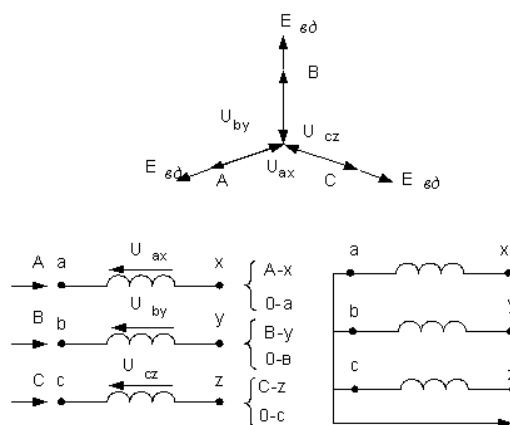


Рисунок 5.4 – Схема вмикання обмоток у групу XII

У звіті треба навести розрахунок  $E_{вд}$ ,  $U_n$ ,  $\Delta U_p$  при заданій групі з'єднань обмоток, векторну діаграму напруги даного варіанта, подати схему підключення ФВДТ, нарисувати схему з'єднання обмоток збудження, навести дані безпосередніх вимірів у заданій схемі, а також зробити узагальнюючі висновки.

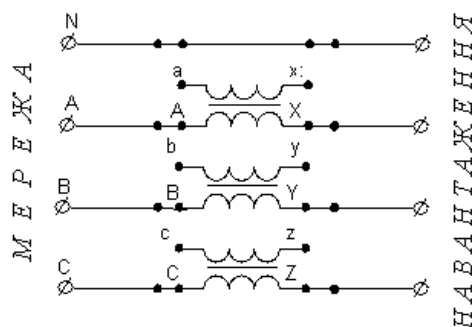


Рисунок 5.5 – Схема моделі

## 5.6 Програма виконання робочого завдання

5.6.1 За паспортом трансформатора визначити номінальні дані та записати їх.

5.6.2 Приєднати трансформатор до схеми, подати напругу і перевірити паспортні дані за допомогою вимірів. Вимкнути напругу.

5.6.3 Зібрати обмотки збудження в зірку з живленням від відповідних фаз.

5.6.4 Приєднати вольтододавальні обмотки послідовно з напругою мережі.

5.6.5 Після перевірки схеми викладачем подати напругу.

5.6.6 Виміряти фазну і лінійну напругу в мережі і на виході ФВДТ. Результати вимірів занести в таблицю.

5.6.7 Вимкнути напругу і зібрати схему обмоток збудження відповідно з завданням викладача.

5.6.7 Ввимкнути напругу і виміряти її на навантаженні за новою схемою.

5.6.8 Визначити результуючу величину  $E_{вд}$  для обох дослідів і порівняти отримані значення з величинами, отриманими аналітичними розрахунками.

5.6.9 Зробити висновки за результатами вимірів.

Таблиця 5.2 – Результати вимірів

Схема з'єднання ВДТ	Номінальні дані ВДТ		Результати вимірювань напруги, В											
			Мережа						Навантаження					
	$U_{вн}, В$	$U_{нн}, В$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

## Контрольні питання

1. Якими способами регулюють напругу в електричних мережах?
2. Пояснити принцип дії вольтододавальних трансформаторів з фазовим управлінням.
3. Пояснити принцип роботи лінійного регулятора напруги з плавним регулюванням.
4. Скільки величин добавок напруги можливо одержати за допомогою ФВДТ?



## **Лабораторна робота № 6**

### **ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І ВМИКАННЯ ЇХ НА ПАРАЛЕЛЬНУ РОБОТУ**

#### **6.1 Мета роботи**

Вивчити особливості фазування трансформаторів і умови їх вмикання на паралельну роботу.

#### **6.2 Домашнє завдання**

6.2.1 Вивчити правила фазування трансформаторів напругою до і вище 1000 В.

6.2.2 Письмово відповісти на наступні запитання:

Які прилади застосовуються для визначення фаз на напрузі до і вище 1000 В?

Чим відрізняється фазування трансформаторів з виведеним нулем від трансформаторів без виведеного нуля?

#### **6.3 Опис лабораторного стенду**

До складу стенду входять два трьохфазних трансформатори, вольтметри, фазовказівник ФУ-2 і вольтамперфазоіндикатор ВАФ-85.

#### **6.4 Загальні положення**

Електричне устаткування трифазного струму (синхронні генератори, трансформатори, лінії електропередачі) підлягають обов'язковому фазуванню перед першим вмиканням у мережу, а також після ремонту, при якому міг бути порушений порядок проходження й чергування фаз. Фазування складається в перевірці збігу за фазою напруги кожної із трьох фаз, електричної установки, що включається з відповідними фазами напруги мережі. Така перевірка необхідна тому, що в процесі складання, монтажу й ремонту устаткування фази могли бути переставлені місцями. Допущені помилки виявляються фазуванням. Фазування складається з трьох істотно різних операцій. Перша з них полягає в перевірці й порівнянні порядку чергування фаз установки, що вмикається й мережі. Ця операція проводиться перед вмиканням на паралельну роботу незалежно працюючих електричних систем, нового генератора, а також генератора після капітального ремонту, якщо при цьому змінювалася схема з'єднання обмоток статора з мережею. Тільки після одержання позитивних результатів фазування електричні системи (генератор) синхронізують і включають на паралельну роботу. Друга операція складається в перевірці однойменності (кольорів) фаз,

з'єднання яких передбачається зробити. Метою цієї операції є перевірка правильності з'єднання між собою всіх елементів установки, тобто, в остаточному підсумку, правильності підведення струмовідних частин до апарата, який вмикається. Третя операція складається в перевірці збігу за фазою однойменних напруг, тобто відсутності між ними кутового зсуву. При фазуванні силових трансформаторів обмежуються виконанням двох останніх операцій, тому що відомо – порядок чергування фаз у всіх синхронно працюючих генераторів системи однаковий. Методи фазування різні. Вони залежать від призначення фазованого встаткування (генератори, трансформатори, лінії), схем з'єднання обмоток, а також від приладів і пристосувань, що використовуються при фазуванні. Нижче розглянуті найбільш доступні методи, що одержали поширення в енергосистемах.

**Збіг фаз.** При фазуванні трифазних кіл можуть бути різні варіанти чергування позначень (кольору) затискачів на апараті, що вмикає, і подачі на них напруги різних фаз. Для простоти подальших міркувань припустимо, що фазовані напруги двох трифазних кіл мають однаковий порядок чергування фаз. За цієї умови фази однойменних напруг можуть збігатися, а порядок чергування позначень затискачів у вимикача – ні або, навпаки, при тому самому порядку чергування позначень затискачів фазовані напруги можуть виявитися зсунутими за фазою. Поворот однойменних векторів напруг один відносно одного може на будь-який кут, кратний  $30^0$ , що характерно для трансформаторів, які мають різні групи з'єднання обмоток. В обох наведених випадках вмикання вимикача неминуче приводить до КЗ. Однак можливий варіант, коли збігається й те, і інше. Коротке замикання між частинами установки, що з'єднуються, тут виключено. Під збігом фаз при фазуванні розуміють саме той випадок, коли однойменні напруги фазованих трифазних кіл збігаються за фазою, а чергування позначень у вимикача затискачів (або їхній колір) погоджено з відповідними фазами напруг і між собою.

## **6.5 Прилади й пристосування, що використовуються при фазуванні**

**Вольтметри.** Для фазування в електроустановках напругою до 1000 В застосовують вольтметри змінного струму, які підключаються безпосередньо до виводів електричного устаткування або струмопровідних частин апаратів. Великої точності від цих приладів не вимагається, не ставляться також ніякі вимоги і стосовно принципу дії. Шкала приладу повинна бути розрахована на подвійну фазну або подвійну лінійну напругу установки залежно від методу фазування й виду фазованого устаткування. При фазуванні устаткування напругою 6 кВ і вище вольтметр підключають до вимірювальних

трансформаторів напруги – стаціонарної установки (шинні, генераторні). Застосування переносних трансформаторів напруги з вольтметром на стороні НН не рекомендується, тому що це не безпечно для персоналу.

Фазопоказчик. Порядок проходження фаз перевіряють фазопоказчиком ФУ-2 (рис. 6.1).

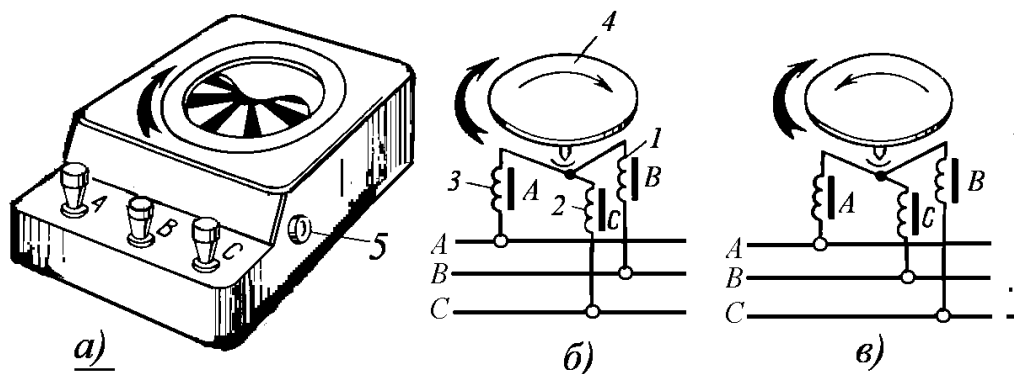


Рисунок 6.1 – Фазопоказчик ФУ-2

Прилад складається із трьох котушок 1, 2, 3, намотаних на феромагнітних сердечниках, і легкого алюмінієвого диска 4, закріпленого на осі. Дія приладу заснована на тому ж принципі, що й дія асинхронного двигуна. Якщо три котушки приладу підключити до трифазної системи струмів, то вони утворять в просторі кругове обертове магнітне поле, що приводить у рух диск у тому напрямку, у якому обертається воно само. Напрямок обертання магнітного поля, а виходить, і диска залежить винятково від порядку чергування фаз струмів у котушках. Для визначення порядку чергування фаз фазопоказчик підключають до системи напруг, що перевіряється. Затискачі приладу марковані, тобто позначені буквами А, В, С. Якщо фази мережі збігаються з маркуванням приладу, то диск буде обертатися в напрямку, зазначеному стрілкою на кожусі приладу. Таке обертання диска відповідає прямому порядку проходження фаз. При обертанні диска у зворотну сторону – зворотному порядку проходження фаз: А–С–В. Прямий порядок проходження фаз зі зворотного одержують зміною місць двох будь-яких фаз. Прилад ФУ-2 розрахований на вмикання в мережу напругою 50-500 В на час не більше 5 с. Обертання диска починається при натисканні кнопки 5.

Універсальні прилади. Широке застосування при фазуваннях знайшли універсальні прилади: портативний вольтамперфазоіндикатор ВАФ-85 і універсальний фазопоказчик типу Э-500. Прилад ВАФ-85 (рис. 6.2) дозволяє виміряти напругу промислової частоти до 250 В, кут зсуву між двома напругами й визначити порядок проходження фаз. Прилад Э-500 призначений для виміру фазного кута між векторами напруг у симетричних трифазних

системах, а також для визначення порядку проходження фаз і груп з'єднання обмоток трансформаторів. Напруга живлення приладу 110 і 380 В.

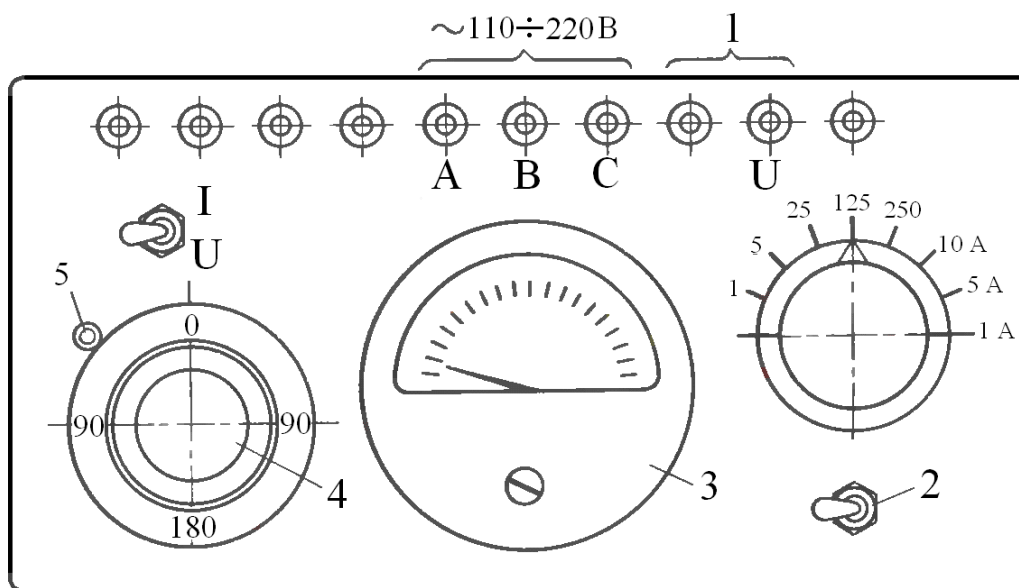


Рисунок 6.2 – Зовнішній вигляд приладу ВАФ-85

1 – виводи для виміру напруги; 2– перемикач виміру фази; 3 – вимірювальний прилад; 4 – лімб; 5 – важіль для перевірки порядку проходження фаз.

Показчики напруги для фазування. Фазування в установках напругою понад 1000 В може виконуватися показчиками напруги, призначеними спеціально для цієї мети. У комплект показчика на 10 кВ, як правило, входять: власне показчик напруги, трубка з додатковим резистором і з'єднуючий їх провідник. У корпус (трубку з ізоляційного матеріалу) показчика напруги вмонтовані сигнальна лампа, шунтувальний і три додаткових конденсатори на робочу напругу 15 кВ кожний. У другу трубку вбудовано термостійкі резистори, сумарний опір яких становить 8-10 МОм. Обидві трубки послідовно з'єднані проводом ПВЛ-І, що витримує випробувальну напругу до 20 кВ. До верхніх частин трубок пригвинчені металеві щупи, з'єднані з електричною схемою, до нижніх – ізолюючі штанги з ручкою-захватом. Для фазування на відключений апарат (вимикач, роз'єднувач) з кожної з його сторін подають фазовані напруги. Щупи показчика підносять до струмовідних частин апарата й спостерігають за світінням сигнальної лампи. При цьому можливі два випадки вмикання показчика:

– зустрічне вмикання – це вмикання на незфазовану напругу, лампа показчика в цьому випадку повинна яскраво горіти, сигналізуючи про розбіжність фаз;

– погоджене вмикання – це вмикання на напругу однієї й тієї ж фази. Лампа показчика в цьому випадку світитися не повинна. Відсутність світіння лампи свідчить про можливість вмикання апарата.

Відзначимо деякі вимоги, які пред’являються до показчиків напруги, призначених для фазування. Правила користування й випробування захисних засобів, застосовуваних в електроустановках, нормують так званий поріг запалювання сигнальної лампи показчика при зустрічному й погодженому вмиканні. Під порогом запалювання розуміють ту мінімальну прикладену до щупів показчика напругу, при якому настає видиме стійке світіння сигнальної лампи. Слід відмітити, що парадоксальне на перший погляд світіння лампи при підключенні обох щупів показчика до однієї фази насправді пояснюється впливом електричних ємностей різних елементів показчика на заземлені конструкції. Проходження струму через ці ємності й приводить до світіння лампи. Щоб уникнути помилки при фазуванні, напруга запалювання показчика при погодженому вмиканні повинна бути більш високою, ніж та робоча напруга, на якій виконується фазування. Поріг запалювання при зустрічному вмиканні характеризує чутливість показчика. Чим нижча напруга запалювання лампи, тим більше чутливий показчик. Однак показчики підвищеної чутливості непридатні для фазування, тому що різниця напруг між однойменними фазами двох фазованих частин установки може досягти 8–10% робочої напруги. Отже, напруга запалювання при зустрічному вмиканні повинна бути трохи більшою зазначеного значення. Практично вона приймається рівною 1000–1500 В. В одержанні необхідних напруг запалювання лампи показчика при погодженому й зустрічному вмиканні відіграє роль шунтування лампи ємністю. Введення в коло шунтуючого конденсатора ємністю 200 пФ дозволило виключити вплив часткових ємностей окремих елементів показчика й забезпечило необхідну величину й стабільність порогів запалювання лампи. При розробці конструкції показчика УВНФ за основу був узятий серійний показчик напруги типу УВН-80, що має в зібраному виді загальну довжину 715 мм і робочої частини – 350 мм. Досвід показав, що розмір робочої частини такого показчика при застосуванні його для фазування повітряних ліній 6–10 кВ безпосередньо на роз’єднувачах зовнішньої установки не забезпечує безпечних умов роботи. Довжина робочої частини показчика порівнянна з висотою струмопровідних частин над заземленою рамою – підставою роз’єднувача, що може привести до перекриття фази на землю при наближенні трубок до сталевих конструкцій. Тому для фазування на стовпових роз’єднувачах розроблений показчик з довжиною робочої частини й трубки з додатковим резистором до 700 мм при загальній довжині показчика 1400 мм. Для фазування на напрузі 35 і 110 кВ розроблений показчик напруги типу

УВНФ–35–110. Його конструкція аналогічна конструкції показника УВНФ. Відмінною рисою схеми є полістирольні конденсатори ПОВ-15, що замінили собою резистори. Параметри схеми підібрані так, що показник став нечутливий до напруги фази щодо землі при погодженому вмиканні. Це відстроювання від дії робочої напруги забезпечило чітку вибірковість показника до напруги однойменних і різнойменних фаз. У фазувальний комплект показника (рис. 6.3) входять одна загальна робоча трубка 1 і дві робочих трубки 2 і 3. Загальна трубка застосовується в комплекті із трубкою 2 при фазуванні в установках 110 кВ і в комплекті із трубкою 3 при фазуванні в установках 35 кВ. Ізоляція з'єднувального проводу 4 посилена. Ізолюючі частини 5 розраховані для роботи з напругою в установках до 110 кВ.

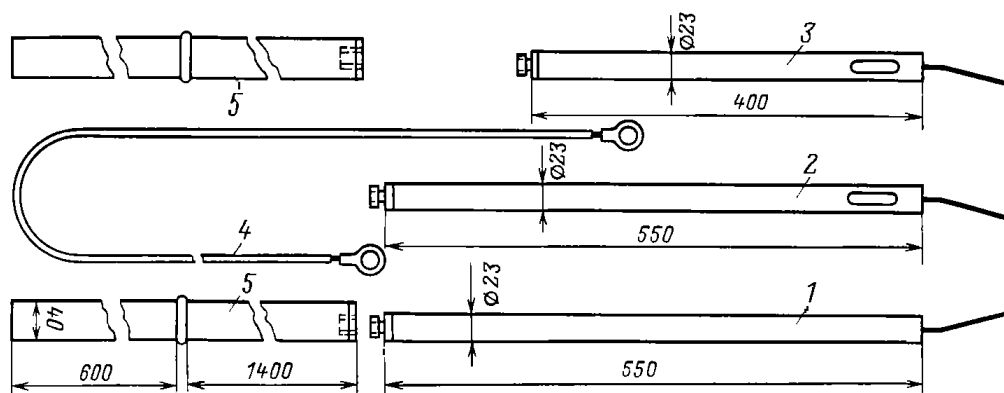


Рисунок 6.3 – Показник напруги для фазування в установках 35 і 110 кВ

1 – загальна трубка; 2 – робоча трубка класу напруги 110 кВ; 3 – те ж класу 35 кВ; 4 – з'єднувальний провід з посиленою ізоляцією; 5 – ізолюючі штанги

Перевірка чергування фаз силових трансформаторів. Відповідно до стандарту вводи трансформаторів розташовують так, щоб чергування їх фаз (зліва направо), якщо дивитися з боку вводів вищої напруги, був: у трифазних трансформаторів 0–А–В–С; 0–а–b–с; в однофазних – А–х; а–х.

Простежити, чи правильно приєднані кінці обмоток до відповідних вводів без розкриття трансформатора, неможливо. Тому правильність позначень вводів трифазних трансформаторів і полярність вводів однофазних трансформаторів установлюють при перевірці груп з'єднань, яка виконується при монтажі й капітальному ремонті трансформаторів із частковою або повною зміною обмоток.

## 6.6 Прямі методи фазування

Фазування трансформаторів, що мають обмотки НН до 380 В, без установки перемички між затискачами. Цим методом фазують силові трансформатори, вторинні обмотки яких з'єднані в зірку з виведеною нульовою

точкою, а також вимірювальні трансформатори напруги, що мають вторинні обмотки із заземленою нейтраллю. Фазування виконують за допомогою вольтметра з боку обмотки НН. Вольтметр повинен бути розрахований на подвійну фазну напругу, тому що поява такої напруги між затискачами фазованих трансформаторів не виключена. Фазовані трансформатори вмикають за схемою, представленою на рисунку 6.4. Нульові точки вторинних обмоток при цьому повинні бути надійно заземлені або приєднані до загального нульового проводу. Об'єднання нульових точок необхідне для створення між фазованими трансформаторами електричного зв'язку, що утворить замкнутий контур для проходження струму через прилад. Перш ніж приступитися до фазування, перевіряють симетричність напруг трансформаторів. Для цього вольтметр по черзі підключають до затискачів  $a_1-b_1$ ;  $b_1-c_1$ ;  $c_1-a_1$ ;  $a_2-b_2$ ;  $b_2-c_2$ ;  $c_2-a_2$ . Якщо значення вимірюваних напруг сильно відрізняються одне від одного перевіряють положення перемикачів відгалужень обох трансформаторів. Перемиканням відгалужень зменшують різницю напруг. Фазування допускається, якщо різниця напруг не перевищує 10%.

На рисунку 6.4 пунктиром показаний шлях проходження струму через прилад при розбіжності фаз.

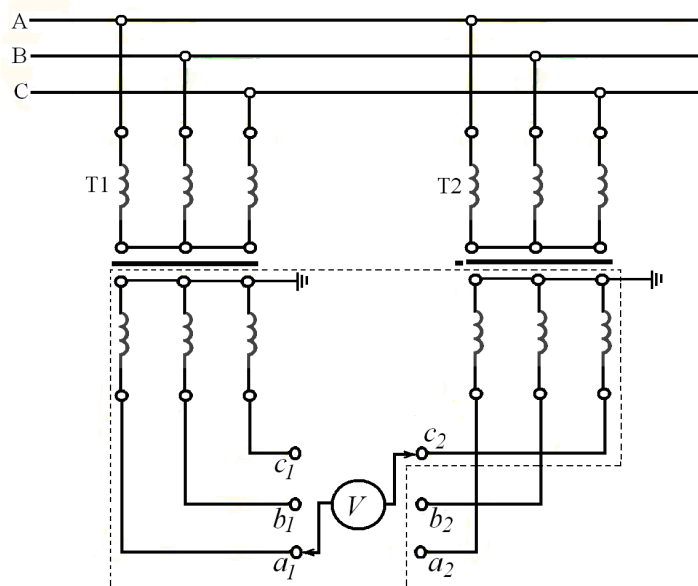


Рисунок 6.4 – Схема фазування трансформаторів, що мають заземлені нульові точки вторинних обмоток

Після проведення перерахованих операцій приступають власне до фазування. Сутність його полягає у відшукуванні виводів, між якими різниця напруг дорівнює нулю. Для цього провід від вольтметра приєднують до одного з виводів першого трансформатора, а іншим проводом по черзі доторкуються трьох виводів другого трансформатора (наприклад, вимірюють напругу між виводами  $a_1-a_2$ ;  $a_1-b_2$ ;  $a_1-c_2$ ). Подальший хід фазування залежить від отриманих результатів. Якщо при одному з вимірів (припустимо, між виводами  $a_1-a_2$ ) показання вольтметра було рівним нулю, то ці виводи помічають, а вольтметр

приєднують до другого виводу (наприклад,  $b_1$ ) першого трансформатора й вимірюють напругу між виводами  $b_1-b_2$ ;  $b_1-c_2$ . Якщо знову одне з показань вольтметра (наприклад, між виводами  $b_1-b_2$ ) виявиться рівним нулю, то фазування вважають закінченим. Особливої необхідності у вимірі напруги між виводами  $c_1-c_2$  немає, тому що при двох нульових показаннях вольтметра ( $a_1-a_2$  і  $b_1-b_2$ ) напруга між третьою парою фаз, природно, повинна бути рівною нулю (рисунок 6.5, а). Однак для підтвердження отриманих результатів про збіг фаз все ж роблять вимір між  $c_1-c_2$ . Виводи, між якими не було різниці напруг, з'єднують при вмиканні трансформаторів на паралельну роботу. У комутаційного апарата такі виводи повинні перебувати безпосередньо один напроти другого. Якщо після виміру ( $a_1-a_2$ ;  $a_1-b_2$ ;  $a_1-c_2$ ;  $b_1-a_2$ ;  $b_1-b_2$ ;  $b_1-c_2$ ) жодне з показань вольтметра не було рівним нулю, то це свідчить про те, що фазовані трансформатори належать до різних груп з'єднань і їхнє вмикання на паралельну роботу неприпустиме. Фазування на цьому припиняють. На підставі вимірів будують векторні діаграми й за ними роблять висновок, чи можна включити трансформатори паралельно і які перемикання необхідно для цього виконати. Характерними є два випадки. У першому з них  $U_{a_1-a_2}=1,15U_L$ ;  $U_{a_1-b_2}=0,58U_L$ ;  $U_{a_1-c_2}=0,58U_L$ ;  $U_{b_1-a_2}=0,58U_L$ ;  $U_{b_1-b_2}=1,15U_L$ ;  $U_{b_1-c_2}=0,58U_L$ . Типова для цього випадку векторна діаграма представлена на рисунку 6.5, б. З рисунка видно, що вектори вторинних ЕРС повернені на  $180^\circ$ , а напруга між затискачами  $a_1-a_2$  дорівнює подвійній фазній напрузі  $U_{a_1-a_2}=2U_\phi=2/\sqrt{3}U_L=1,15U_L$ . Якщо обидва фазованих трансформатора належать до непарних груп, то для вмикання їх паралельно треба в одного з них переключити шини на виводах обмоток ВН і НН, тобто зробити подвійне перемаркування фаз.

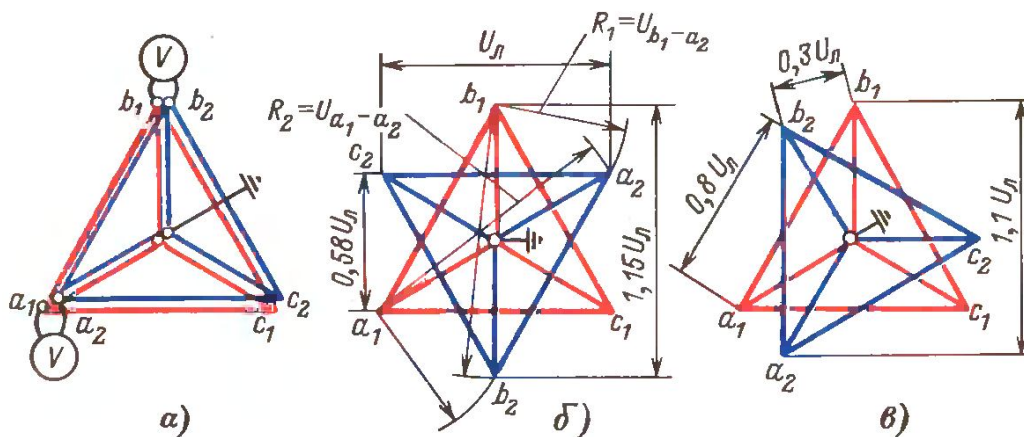


Рисунок 6.5 – Векторні діаграми ЕРС обмоток НН фазованих трансформаторів  
 а) при збігу фаз; б) при зсуві векторів на  $180^\circ$ , наприклад при групах з'єднань Д/У<sub>Н</sub>-11 і Д/У<sub>Н</sub>-5; в) при зсуві векторів на  $30^\circ$  (Д/У<sub>Н</sub>-0 і Д/У<sub>Н</sub>-11)

Для трансформаторів парних груп (а також парної й нульової) необхідно внутрішнє перез'єднання обмоток. У другому випадку

$$\begin{aligned} U_{a_1-a_2} &= 0,3U_L; U_{a_1-b_2} = 0,8U_L; \\ U_{a_1-c_2} &= 1,1U_L; U_{b_1-a_2} = 1,1U_L; \\ U_{b_1-b_2} &= 0,3U_L; U_{b_1-c_2} = 0,8U_L. \end{aligned}$$



На типовій векторній діаграмі (рис. 6.5, в) вектори ЕРС зсунуті на  $30^\circ$ . Такий кут зсуву може бути в трансформаторів парної (або нульової) і непарної груп. Паралельне вмикання таких трансформаторів не може бути виконане ні за яких умов. Техніка побудови векторних діаграм показана на рисунку 6.5, б.

Трикутник лінійних ЕРС першого трансформатора будують довільно. А точки вершин другого трикутника знаходять за допомогою засічок радіусами, що чисельно дорівнюють напругам між затискачами  $a_1-a_2$  і  $b_1-a_2$ ;  $a_1-b_2$  і  $b_1-b_2$ .

Фазування трансформаторів, що мають обмотки НН до 380 В, з установкою перемички між двома виводами. Цей метод застосовують при фазуванні трансформаторів, вторинні обмотки яких не мають нульового виводу. Фазування виконують на стороні НН за допомогою вольтметра. Його шкала повинна бути розрахована на подвійну лінійну напругу. До вмикання фазованих трансформаторів під напругу мегомметром перевіряють опір ізоляції вторинних обмоток щодо землі. Обмотки не повинні мати ніяких з'єднань із землею, тому що подвійне замикання на землю при наявності перемички між виводами може привести до КЗ. Перемичка (бажано з опором 3–5 кОм) установлюється між двома будь-якими затискачами одного й іншого трансформатора (рис. 6.6). Її наявність не представляє ніякої небезпеки для трансформаторів, оскільки при цьому не утвориться замкнутого кола для проходження струму КЗ. Замкнуте коло створюється вмиканням вольтметра, який, як відомо, має опір десятків тисяч Ом, і струм, що протікає через нього мізерно малий.

Для фазування трансформатори включають на напругу з боку ВН, після чого на затискачах НН кожного трансформатора вольтметром перевіряють симетрію напруг, підведених для фазування. Усього виконується шість вимірів.

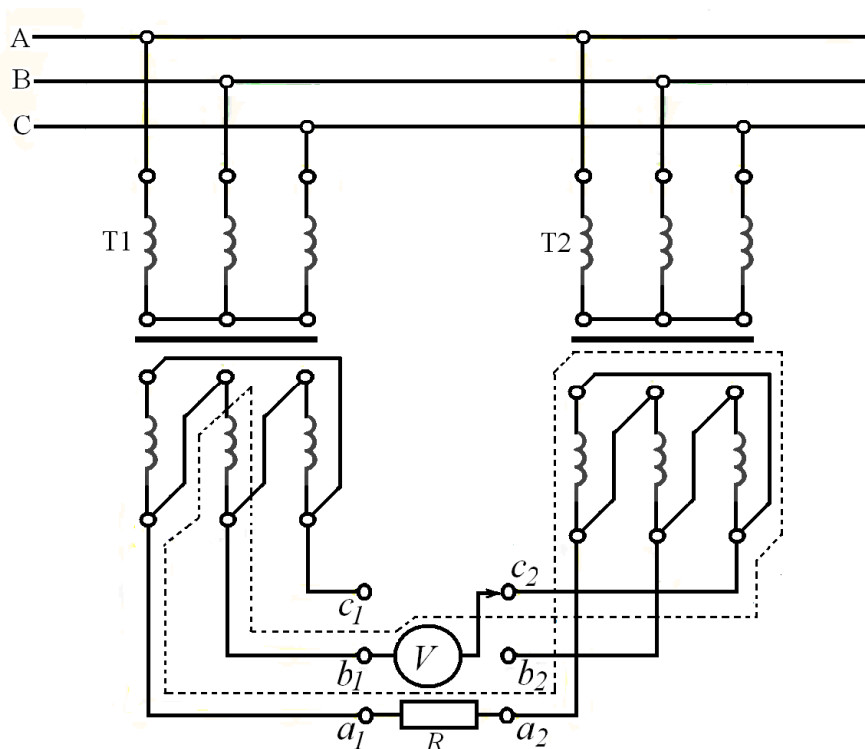


Рисунок 6.6 – Схема фазування трансформаторів з установкою перемички між їхніми затискачами (R – резистор з опором 3 кОм)

Фазування виконують у два прийоми. Спочатку вимірюють напругу між одним з вільних виводів першого трансформатора й двома вільними виводами другого трансформатора, наприклад між виводами  $b_1-b_2$  і  $b_1-c_2$ . Потім вимірюють напругу між іншим вільним виводом і тими ж виводами другого трансформатора ( $c_1-c_2$  і  $c_1-b_2$ ). Дані виміри залежать від того, між якими парами виводів установлена перемичка. Можливі три варіанти її установки:  $a_1-a_2$ ;  $b_1-a_2$ ;  $c_1-a_2$ . У кожному із цих варіантів при однакових групах з'єднань фазованих трансформаторів будуть відповідати наступні показання вольтметра:

Таблиця 6.1 – Показання вольтметра при однакових групах з'єднань фазованих трансформаторів

Затискачі, що з'єднуються	$a_1-a_2$	$b_1-a_2$	$c_1-a_2$
Напруга між затискачами	$U_{b_1-b_2}=0$ $U_{b_1-c_2}=U_L$ $U_{c_1-b_2}=U_L$ $U_{c_1-c_2}=0$	$U_{a_1-b_2}=2U_L$ $U_{a_1-c_2}=1,73U_L$ $U_{c_1-b_2}=1,73U_L$ $U_{c_1-c_2}=U_L$	$U_{a_1-b_2}=1,73U_L$ $U_{a_1-c_2}=2U_L$ $U_{b_1-b_2}=U_L$ $U_{b_1-c_2}=1,73U_L$

Побудовані за цими даними векторні діаграми ЕРС обмоток НН наведені на рисунку 6.7. З рисунка 6.7, а безпосередньо видно, що трансформатори мають однакові групи з'єднань і паралельне вмикання їх можливе при з'єднанні між собою виводів  $a_1$  і  $a_2$ ;  $b_1$  і  $b_2$ ;  $c_1$  і  $c_2$ . Тому що дві інші векторні діаграми

(рис. 6.7, б, в) побудовані для тих же трансформаторів, дозволяють зробити такий же висновок. Фазування звичайно закінчують, як тільки будуть отримані дані одного із трьох варіантів вимірів і побудована векторна діаграма, аналогічна зазначеній на рисунку 6.7 а, б, в. Характерним для цього випадку фазування (варіант з'єднання однойменних виводів  $a_1-a_2$ ) є одержання двох нульових показань вольтметра при кожному вимірі. Однак варто сказати, що два нульових показання можуть бути отримані й при різних групах з'єднань, коли вектори ЕРС зсунуті на  $240^\circ$ . Але при цьому з'єднаними перемичкою повинні бути затискачі  $c_1$  і  $a_2$ . Векторні діаграми наведені на рисунку 6.7 г, д, є. Паралельне вмикання таких трансформаторів можливе тільки після перемикування шин, підведених до трансформатора, тобто після циклічного перемаркування фаз.

Про неможливість паралельного вмикання трансформаторів свідчать такі покази вольтметрів, коли при всіх трьох варіантах установки перемички не виходить жодного нульового показання, наприклад: з векторних діаграм, наведених на рисунку 6.8 ж, з, і видно, що вектори лінійних ЕРС зсунуті на  $30^\circ$ .

Такий кут буде отриманий, якщо трансформатори відносяться до непарних і парних (або нульової) груп з'єднань, наприклад У/У-0 і У/Д-11, а їхнє паралельне включення неможливо.

Якщо в процесі фазування у двох із трьох варіантів установки перемички виходить по одному нульовому показанню, то це вказує на допустимість паралельного включення, але тільки після деяких змін у схемі. У трансформаторів непарних груп зі зсувом векторів вторинних ЕРС на  $60^\circ$  (рис. 6.7 к, л, м) необхідно зробити подвійне перемаркування фаз.

Умови безпеки при виконанні фазування показчиками напруги. Перш ніж приступити до виконання фазування, необхідно переконатися у виконанні як загальних вимог техніки безпеки по підготовці робочого місця, так і спеціальних вимог по роботі з вимірювальними штангами на устаткуванні, що перебуває під напругою. Електричні апарати, на виводах яких буде виконуватися фазування, ще до подачі на них напруги повинні бути надійно замкнені й вжиті заходи, що запобігають їхньому вмиканні. Показчики напруги перед початком роботи під напругою повинні бути піддані ретельному зовнішньому огляду. При цьому звертається увага на те, щоб лакове покриття трубок, ізоляція з'єднувального проводу й лампа-індикатор напруги не мали видимих ушкоджень і подряпин. Строк придатності показчика перевіряється за штампом періодичних випробувань.

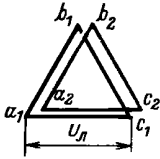
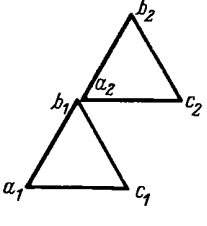
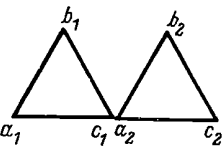
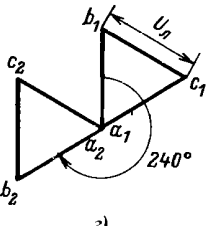
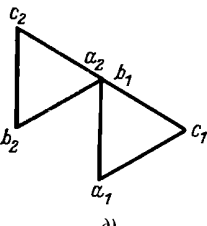
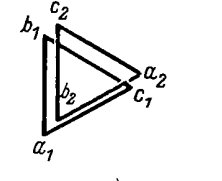
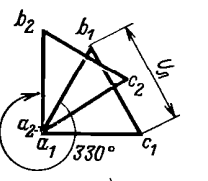
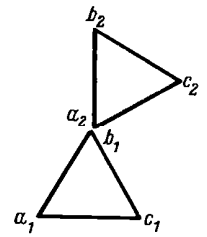
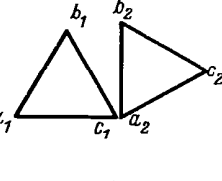
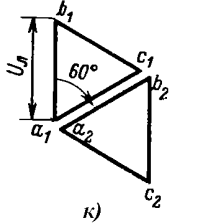
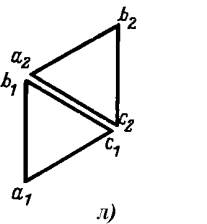
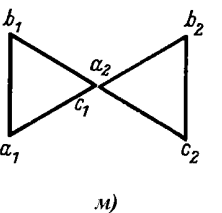
Виводи, з'єднані перемичкою		
$a_1 - a_2$	$b_1 - b_2$	$c_1 - a_2$
 <p>a)</p>	 <p>б)</p>	 <p>в)</p>
 <p>г)</p>	 <p>д)</p>	 <p>е)</p>
 <p>ж)</p>	 <p>з)</p>	 <p>і)</p>
 <p>к)</p>	 <p>л)</p>	 <p>м)</p>

Рисунок 6.7 – Векторні діаграми ЕРС при фазуванні трансформаторів  
а, б, в – при однакових групах з'єднань; г, д, е – при зсуві векторів на  $240^0$ ;  
ж, з, і – те ж на  $330^0$ ; к, л, м – те ж на  $60^0$

Не допускається застосовувати показники, строк придатності яких минув. При роботах з показником напруги обов'язкове застосування діелектричних рукавичок. У ході фазування не рекомендується наближати з'єднувальний провід до заземлених частин. Розташовувати робочі й ізолюючі частини показників треба так, щоб не виникала небезпека перекриття по їхній поверхні між фазами або на землю. Фазування показником напруги не можна робити під час дощу, снігопаду, при тумані, тому що ізолюючі частини його можуть зволожитися, що приведе до їхнього перекриття.

## 6.7 Робоче завдання

6.7.1 Ознайомитися з паспортними даними фазованих трансформаторів.

6.7.2 З'єднати вторинну обмотку трансформаторів в зірку з виведеним нулем (рис. 6.4).

6.7.3 Приєднати один з трансформаторів до мережі, ввімкнути напругу і визначити величину його вторинної напруги, занести результати в таблицю. Вимкнути напругу і приєднати фазовказівник. Ввімкнути напругу і визначити порядок чергування фаз за фазовказівником. Вимкнути напругу.

6.7.4 Виконати пункт 3 для іншого трансформатора.

6.7.5 Приєднати до мережі обидва трансформатори за схемою рисунок 6.5. Ввімкнути напругу. Почергово виміряти напругу між виводами різних трансформаторів, визначити однойменні виводи. Вимкнути напругу і виконати маркування виводів.

6.7.6 З'єднати однойменні виводи вторинних обмоток. Ввімкнути напругу. **Якщо після вмикання спостерігається ненормальне гудіння трансформаторів чи помітне їхнє швидке нагрівання напругу негайно вимкнути і перевірити з'єднання.** Вимкнути напругу і в розрив провідника, що з'єднує одну групу фаз, ввімкнути амперметр. Ввімкнути напругу і виміряти зрівнювальний струм трансформаторів. Вимкнути напругу. Результати вимірів занести до таблиці.

Таблиця 6.2 – Вторинна напруга трансформатора, В

$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

Таблиця 6.3 – Напруга між фазами трансформаторів, В

$U_{a1-a2}$	$U_{a1-b2}$	$U_{a1-c2}$	$U_{b1-a2}$	$U_{b1-b2}$	$U_{b1-c2}$	$U_{c1-a2}$	$U_{c1-b2}$	$U_{c1-c2}$

Зрівнювальний струм – \_\_\_\_\_ А.

6.7.7 З'єднати вторинні обмотки трансформаторів за схемою трикутник.

6.7.8 Приєднати один з трансформаторів до мережі і вимірити вторинну напругу, результати занести в таблицю. Вимкнути напругу.

6.7.9 Приєднати до мережі обидва трансформатори за схемою рисунок 6.6, ввімкнувши між будь-якими виводами різних трансформаторів додатковий опір. Ввімкнути напругу. Почергово виміряти напругу між виводами різних трансформаторів, результати вимірів занести до таблиці. Вимкнути напругу. За результатами вимірів визначити однойменні фази.

6.7.10 З'єднати визначені однойменні виводи. Ввімкнути напругу. **Якщо після вмикання спостерігається ненормальне гудіння трансформаторів чи помітне їхнє швидке нагрівання напругу негайно вимкнути і перевірити**

**з'єднання.** Вимкнути напругу і в розрив провідника, що з'єднує одну групу фаз, ввімкнути амперметр. Ввімкнути напругу і вимірити зрівнювальний струм трансформаторів. Вимкнути напругу. Результати вимірів занести до таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Вторинна напруга трансформатора, В

$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

Таблиця 6.5 – Напруга між фазами трансформаторів, В

Затискачі, що з'єднуються	$a_1-a_2$	$b_1-a_2$	$c_1-a_2$
Напруга між затискачами	$U_{b1-b2} 0$	$U_{a1-b2}$	$U_{a1-b2}$
	$U_{b1-c2} 0$	$U_{a1-c2}$	$U_{a1-c2}$
	$U_{c1-b2}$	$U_{c1-b2}$	$U_{b1-b2}$
	$U_{c1-c2}$	$U_{c1-c2}$	$U_{b1-c2}$

Зрівнювальний струм – \_\_\_\_\_ А.

6.7.11 Зробити письмові висновки.

### Контрольні питання

1. В чому полягає процес фазування? З яких операцій складається фазування?
2. Які прилади й пристосування застосовуються для фазування при напрузі до 1000 В?
3. Які прилади й пристосування застосовуються для фазування при напрузі вище 1000 В?
4. Поясніть конструкцію високовольного показчика напруги.
5. Поясніть як здійснюється фазування трансформаторів з вторинною напругою до 380 В без установки перемички між затискачами трансформаторів?
6. Поясніть як здійснюється фазування трансформаторів з вторинною напругою до 380 В з установкою перемички між затискачами трансформаторів?
7. Що може свідчити про неможливість паралельного вмикання трансформаторів при фазуванні з установкою перемички між затискачами трансформаторів?
8. Наведіть основні правила техніки безпеки при фазуванні.

## **Лабораторна робота № 7**

### **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВЕНТИЛЬНОСТІ НЕЛІНІЙНОГО ОПОРУ ВЕНТИЛЬНОГО РОЗРЯДНИКА**

#### **7.1 Мета роботи**

Знайомство з конструкцією і електричними характеристиками вентильних розрядників (РВ) і нелінійних обмежувачів перенапруги (ОПН).

#### **7.2 Домашнє завдання**

7.2.1 Вивчити особливості конструкції і принцип роботи РВ і ОПН за навчальною літературою.

7.2.2 Записати умови вибору розрядників і ОПН.

#### **7.3 Теоретичні відомості**

В нормальному режимі роботи на ізоляцію електроустановки діють напруги близькі до номінальних. Разом з тим внаслідок різних причин в електроустановках можуть виникати підвищені напруги, небезпечні для електричної ізоляції обладнання. Такі підвищені напруги називають перенапругами.

Перенапруги є наслідком електромагнітних процесів, пов'язаних зі зміною режиму роботи електричних кіл, або з розрядами блискавки. Відповідно до цього розрізняють внутрішні (комутаційні, резонансні) і зовнішні (атмосферні) перенапруги. Атмосферні перенапруги виникають при прямому враженні блискавкою об'єктів, розташованих на відкритому повітрі – ліній електропередачі, відкритих розподільних установок, будинків і інших споруд (перенапруги прямого удару), а також при розряді блискавки поблизу електричних споруд – ліній електропередачі тощо (індуковані перенапруги). Найнебезпечнішими перенапруги прямого удару блискавки. Характерною особливістю атмосферних перенапруг є їх короткочасність. Головний розряд триває декілька десятків мікросекунд, і підвищення напруги має характер імпульсу.

Кожній лінійній напрузі відповідає свій рівень чи клас ізоляції, який визначається величиною випробувальних напруг, які характеризують електричну стійкість ізоляції. Здатність ізоляції протистояти атмосферним перенапругам характеризується імпульсною випробувальною напругою, а внутрішні перенапруги – випробувальною напругою промислової частоти. Захищають електроустановки від атмосферних перенапруг блискавковідводами, які попереджають пряме влучення блискавки в об'єкти захисту. Але незалежно від того, захищені повітряні лінії від прямих вражень блискавкою чи ні, обладнання електроустановок, зв'язане з повітряними електричними мережами, можуть попадати під дію електромагнітних хвиль

атмосферних перенапруг, які набігають з боку ліній. Амплітуда хвиль атмосферних перенапруг може перевищувати імпульсні випробувальні напруги ізоляції електрообладнання, в результаті чого можливі пробої ізоляції. Для попередження цього необхідно штучне зниження амплітуди хвилі, яка набігає на електроустановку, що досягається за допомогою розрядників чи обмежувачів перенапруги. Таким чином, ці апарати захищають установку від перенапруг шляхом зниження амплітуди хвилі перенапруги до значення безпечного для ізоляції електроустановки.

Останнім часом на заміну традиційних вентильних розрядників змінного струму прийшли нові електричні апарати високої напруги – обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН), які в порівнянні з розрядниками більш глибоко обмежують комутаційні та грозові перенапруги.

Вентильні розрядники складаються з колонки іскрових проміжків, звичайних чи з магнітним гасінням дуги, шунтованих нелінійним омичним опором і нелінійних робочих опорів (вілтових чи тервітових), поміщених в герметично закриту фарфорову оболонку.

Іскрові проміжки розрядників повинні обірвати супровідний струм при першому переході через нульове значення. Для успішного гасіння дуги іскровими проміжками супровідний струм обмежується робочим опором до визначеної величини.

Таким чином, іскрові проміжки вентильного розрядника виконують дві функції: по-перше, задають величину пробивної напруги розрядника, його вольт-секундну характеристику: зі збільшенням розрядної відстані іскрового проміжку росте його напруга і, навпаки, зі зменшенням розрядної відстані пробивна напруга знижується; по-друге, вони обривають супровідний струм промислової частоти, який протікає через розрядник під дією нормальної робочої напруги після пробою іскрових проміжків. Одиначний іскровий проміжок створюється двома фігурними латунними електродами, розділеними ізолюючою прокладкою з міканіту товщиною 0,5–1,0 мм. Пробивна напруга одиночного пробивного проміжку при промисловій частоті знаходиться в межах 2,5–2,9 кВ діючих. Робочий опір розрядника виконує також дві задачі: з одного боку, при високих атмосферних перенапругах, зменшуючи свій опір, вільно пропускає імпульсний струм блискавки і тим самим не дає підвищуватися залишковій напрузі більше пробивної напруги іскрових проміжків розрядника; з іншого боку, при нормальній робочій напрузі установки, збільшуючи свій опір, обмежує величину супровідного струму промислової частоти, чим забезпечує його успішний обрив іскровими проміжками розрядника.



Вентильні властивості робочих опорів зумовлені вольт-амперною характеристикою зерен електричного карборунду SiC. Чим менша величина коефіцієнту вентильності  $\alpha$ , тим в меншій мірі збільшується напруга на робочому опорі зі збільшенням протікаючого по ньому струму. Вольтамперні характеристики вілітових і тервітових дисків при струмах до 1000–2000 А і більше мають коефіцієнт вентильності мають коефіцієнти вентильності  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ .

Для вілітових дисків  $\alpha_1=0,28-0,3$ ;  $\alpha_2=0,11-0,2$ , для тервітових дисків  $\alpha_1=0,35-0,38$ ;  $\alpha_2=0,15-0,25$ .

Пропускна здатність робочих опорів достатня для пропуску без пошкоджень 20 імпульсів струму блискавки.

ОПН – апарати для обмеження перенапруг нового покоління, які виготовлені на основі високонелінійних металооксидних резисторів (варисторів) і підключаються в електричну мережу без іскрових проміжків. Такі апарати одержали назву нелінійних обмежувачів перенапруг (ОПН), а за термінологією Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) – металооксидних обмежувачів перенапруг без іскрових проміжків. Сучасні варистори для ОПН виготовляються за складною технологією з ZnO з малими добавками інших окислів і металів. Варистори на основі ZnO мають різко нелінійну вольт-амперну характеристику, так що при зростанні щільності струму від  $10^{-5}$  А/см<sup>2</sup> до  $10^2$  А/см<sup>2</sup> напруга на варисторі збільшується приблизно в два рази. Високий ступінь нелінійності дозволив в ОПН використовувати варистори в режимі постійного підключення до мережі, що зумовило відмову від іскрових проміжків.

У нормальному робочому режимі струм через обмежувач носить ємнісний характер і складає десяті частки міліампера. При виникненні хвиль перенапруг варистори обмежувача переходять у провідний стан і обмежують подальше зростання напруги на його виводах. Коли перенапруга знижується, обмежувач повертається в непровідний стан.

Сучасні варистори мають високу здатність поглинати і розсіювати, без руйнацій і втрати своїх властивостей, значну енергію, що виділяється при проходженні через них імпульсних струмів, тобто мають високу пропускну здатність. Ця властивість дозволяє створювати на основі варисторів із ZnO достатньо компактні обмежувачі, здатні протистояти впливам грозових і внутрішніх перенапруг.

Конструктивно ОПН являють собою активну частину у вигляді колонки послідовно з'єднаних варисторів, установлену в ізоляційний корпус з необхідними пристроями приєднання і монтажу.

У порівнянні з вентильними розрядниками ОПН мають ряд переваг, що випливають із відсутності іскрових проміжків і високої нелінійності вольт-амперної характеристики:

- більш глибоке обмеження перенапруг (при розмірах активної частини рівних розрядникові);
- простота конструкції і велика надійність;
- стійкість до зовнішніх забруднень ізоляційного корпусу;
- здатність обмежувати внутрішні перенапруги;
- при використанні полімерного корпусу – більша вибухобезпечність;
- менші габарити і маса.

Оскільки варистори ОПН постійно знаходяться під впливом напруги, потрібно підвищену увагу приділяти спроможності ОПН успішно (без утрати теплової стабільності) переносити впливи короточасних та тривалих підвищень напруги, що тривають від часток секунди до десятків годин. Правильний вибір ОПН, з параметрами, що відповідають конкретній ситуації, дозволяє забезпечити надійний захист електроустаткування і безпечну роботу ОПН протягом тривалого часу.

Обмежувачі випускаються у виконаннях УХЛ1 і УХЛ2, які призначені відповідно для зовнішнього та внутрішньої установки. Зовнішня ізоляція обмежувачів витримує випробувальні напруги відповідно до вимог ГОСТ 1516.3 і ГОСТ 16962.1-89 і має трекінгостійкість відповідно до ГОСТ 28856-90. Рівень часткових розрядів в обмежувачах не перевершує 10 пКл.

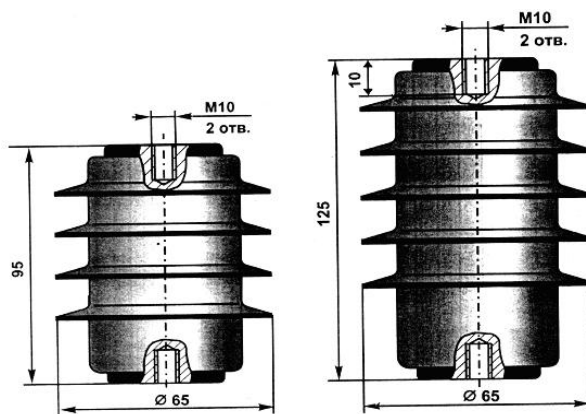


Рисунок 7.1 – Обмежувачі перенапруги нелінійні ОПН-КР/TEL УХЛ2

## 7.4 Зміст і програма роботи

7.4.1 Записати паспортні дані обладнання і приладів.

7.4.2 Накреслити схему для зняття вольт-амперної характеристики.

7.4.3 Зібрати схему. Зняти вольт-амперну характеристику вентильного розрядника і дані занести в таблиці 7.1.

7.4.4 За даними дослідів побудувати вольт-амперну характеристику диску  $U_R = f(I_R)$ , рисунок 7.2.

7.4.5 Для отримання характеристики визначити постійні диска  $C$  і  $\alpha$ .

7.4.6 Навести ескізи і схеми РВ та ОПН, в тому числі реєстратор спрацьовування.

7.4.7 Дати принципову схему приєднання РВ до шин підстанції.

Таблиця 7.1 – Результати вимірів

U, В	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
I, мА										

### 7.5 Методичні вказівки

Вольт-амперну характеристику диска вентильного розрядника знімають за схемою приведеною на рисунок 7.2. Автотрансформатором плавно піднімають напругу до величини, при якій можливо зафіксувати перший замір струму по шкалі міліамперметра. Далі напругу змінюють через 20 В і фіксують величину струму. Результати замірів заносяться в таблицю 7.1. За даними вимірів будують характеристику  $U_R = f(I_R)$ .

Як видно з дослідів, вольт-амперна характеристика є нелінійною. Залежність між напругою на дискові і струмом виражається емпіричною формулою

$$U_R = C \times I_R^\alpha, \quad (7.1)$$

де  $C$  – постійна, що визначає напругу на дискові при струмові 1 А;

$\alpha$  – коефіцієнт вентильності;

$U_R, I_R$  – напруга на дискові в вольтах і відповідний напрузі струм.

Постійна  $C$  залежить від геометричних розмірів диска і питомого опору його матеріалу.

Щоб визначити постійні  $C$  і  $\alpha$  поступають наступним чином: на характеристиці беруть будь-які дві точки (краще біля верхньої межі випробувальної напруги і в середині її) і отримують два вирази:

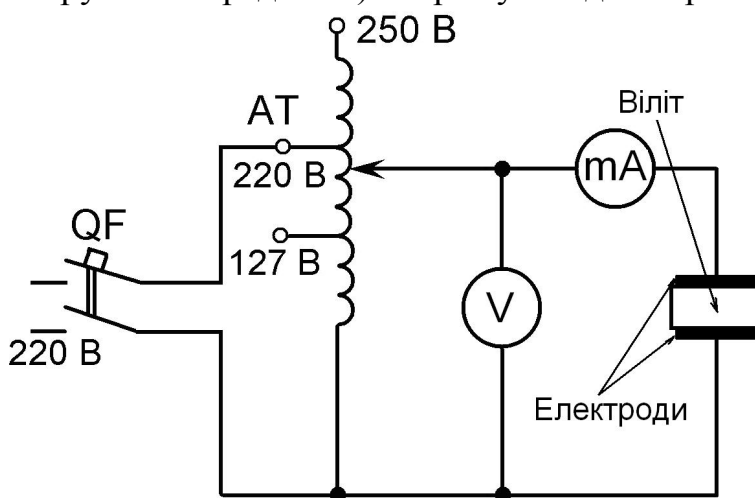


Рисунок 7.2 – Схема лабораторної установки

$$U_{R1} = C \times I_{R1}^{\alpha} \text{ і } U_{R2} = C \times I_{R2}^{\alpha}. \quad (7.2)$$

Поділивши один вираз на другий логарифмують і отримують

$$\lg \frac{U_{R2}}{U_{R1}} = \alpha \times \lg \frac{I_{R2}}{I_{R1}}, \text{ звідки } \alpha = \frac{\lg \frac{U_{R2}}{U_{R1}}}{\lg \frac{I_{R2}}{I_{R1}}}. \quad (7.3)$$

Підставляючи в будь-яке з вихідних рівнянь значення  $\alpha$ , знаходять постійну  $C$

$$C = \frac{U_{R1}}{I_{R1}^{\alpha}}. \quad (7.4)$$

### Контрольні питання

1. Навести рівняння вольт-амперної характеристики розрядника з залежним опором і роль коефіцієнта вентильності. Як графічно відображається ця характеристика в логарифмічних координатах?
2. Пояснити призначення і методи випробувань вентильних розрядників.
3. Чим визначається вибір вентильних розрядників для захисту підстанційної ізоляції? За якими параметрами вони вибираються?
4. В яких випадках необхідний захист нейтралі в трансформаторах?
5. Пояснити принцип гасіння дуги в іскрових проміжках розрядників.
6. Пояснити принципову відмінність конструкцій вентильних розрядників і нелінійних обмежувачів перенапруги.

### Лабораторна робота № 8

#### КОМПЛЕКТНІ РОЗПОДІЛЬНІ УСТАНОВКИ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

##### 8.1 Мета роботи

Вивчити комплектні розподільні установки, ознайомитися з устаткуванням, типами комплектуючих камер 6–10 кВ, вживаними блокуваннями і захистами.

##### 8.2 Домашнє завдання

8.2.1 Вивчити конструктивні особливості, призначення і класифікацію комплектних розподільних установок різного виконання по літературі [1, с. 486–489; 2. с. 493–5061].

8.2.2 Письмово відповісти на такі питання:

- Вимоги, що пред'являються до конструкцій розподільних установок.

- Правила влаштування і основні розміри конструкції РУ.
- Компоновка і конструкції КРУ.
- Характерні конструкції КРУ.
- Напрями розвитку конструкції КРУ, їх особливості.

### **8.3 Опис лабораторного устаткування**

У лабораторії представлена шафа КРУ внутрішньої установки (КРУ) серії КМ 1 з вимикачем типу ВК–10. Шафа КМ 1 розділена металевими перегородками на відсіки: збірні шини, лінійний, релейний, висувний елемент (візок) з вимикачем типу ВК–10 і його приводом і рухомими роз'ємними контактами.

Візок вимикача має три фіксовані положення: робоче, проміжне (випробувальне) і третє, коли всі кола вимкнені і вимикач може бути викочений з комірки повністю.

При переводі візка з робочого положення в проміжне ізоляційні штори закривають отвори в перегородці комірки і відокремлюють відсік вимикача від суміжних відсіків, які можуть знаходитися під високою напругою.

Вмикання вимикача в схему здійснюється за допомогою втичних роз'єднувачів з розетковим контактом. Для підвищення електричної міцності і захисту контактів від пилу вони закриті ізоляційними втулками. Трансформатори струму мають литу ізоляцію.

КРУ може мати різну конструкцію залежно від вживаного устаткування, різні схеми головних і допоміжних з'єднань, тому при їх виборі слід орієнтуватися на сітку схем і каталожні дані.

### **8.4 Робоче завдання**

8.4.1 Вивчити конструкцію і устаткування комірки КМ 1.

8.4.2 Виконати операції з апаратами первинних і вторинних кіл (за вказівкою викладача).

8.4.3 Перевірити роботу блокування заземляючого роз'єднувача і висувного елемента.

8.4.4 Перевірити захист первинним струмом.

### **Контрольні питання**

1. Які вимоги пред'являються до КРУ і КРУН?
2. Особливості КРУ типу КСО.
3. Які блокування виконані в КРУ?

## **Лабораторна робота № 9**

### **ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ**

#### **9.1 Мета роботи**

Вивчити конструкції трансформаторів струму (ТС) і ознайомитися з методами їх випробування.

## 9.2 Загальні відомості

Трансформатори струму дозволяють забезпечити безпеку роботи персоналу, який обслуговує прилади релейного захисту, обліку і вимірювання, а також кола вторинної комутації. Ізоляція первинних обмоток трансформаторів струму виконується на повну робочу напругу установки. Первинні номінальні струми трансформаторів струму стандартизовані в межах 5–15000 А. Для вторинних номінальних струмів встановлені стандартні значення 5 А, а в спеціальних випадках 1 А.

## 9.3 Домашнє завдання

9.3.1 Вивчити принцип дії, конструкції, систему позначення і характеристики ТС по [1, гл. 16].

9.3.2 Письмово відповісти на наступні питання:

- а) Призначення ТС.
- б) Що таке номінальний коефіцієнт трансформації ТС?
- в) Які параметри ТС нормуються?
- г) Найбільші допустимі погрішності ТС різних класів.
- д) Призначення ТС різних класів.
- е) Для якої мети застосовується виткова корекція ТС?

## 9.4 Робоче завдання

9.4.1 Вивчити конструкції представлених в лабораторії ТС.

9.4.2 Вивчити систему утворення умовних позначень типів ТС.

9.4.3 Зробити ескізи препарованих ТС, представлених в лабораторії.

9.4.4 Перевірити заводську маркіровку методом змінного струму.

Перевірка заводського маркування обов'язкова для всіх ТС після їх монтажу. Вона проводиться по схемі рисунку 9.1. При включенні схеми під напругу через амперметр А2 протікатиме або сума первинного  $I_1$  і вторинного  $I_2$  струмів, або їх різниця.

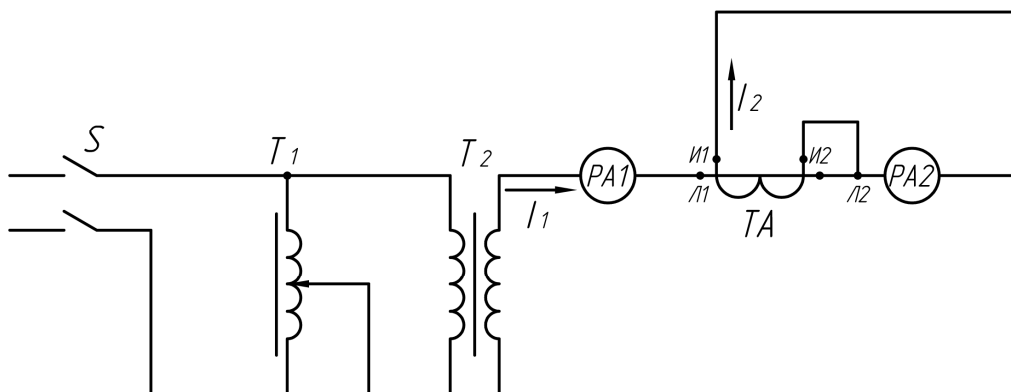


Рисунок 9.1 – Схема для перевірки заводської маркування

Якщо маркування затисків трансформатора струму відповідає вказаній на схемі рисунку 9.1, то через амперметр РА2 протікатиме різниця струмів  $I_1 - I_2$ .

Якщо ж через амперметр протікатиме сума струмів  $I_1 + I_2$ , то затиску  $I_2$  фактично відповідає затиск  $I_1$ .

#### 9.4.5 Виміряти ізоляцію обмоток ТС.

Зміряти ізоляцію обмотки трансформаторів струму мегаомметром на напругу 1000 В по схемі рисунку 9.2. Одержані результати занести в таблицю 9.1.

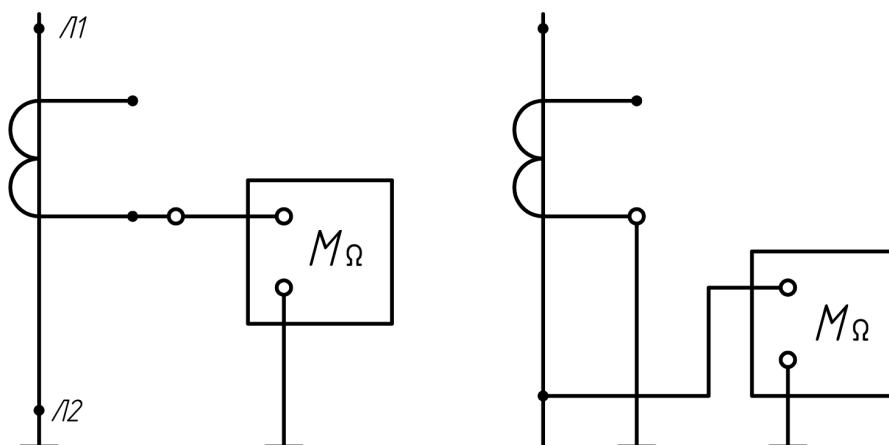


Рисунок 9.2 – Схема для замірювання опору ізоляції

Таблиця 9.1 – Результати вимірювань опорів ізоляції

Вимірювання	Трансформатор 1	Трансформатор 2
Первинна обмотка		
Вторинна обмотка		

#### 9.4.6 Перевірити коефіцієнт трансформації трансформаторів струму

Коефіцієнтом трансформації трансформатора струму прийнято вважати відношення первинного струму  $I_1$ , до вторинного  $I_2$  при відношенні числа витків вторинної обмотки  $w_2$  до витків  $w_1$ , первинної обмотки

$$K_{TA} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} \quad (9.1)$$

9.4.6.1 Визначити коефіцієнт трансформації для одного трансформатора струму.

Під час перевірки коефіцієнта трансформації струм в первинній обмотці встановлюють не менше 20%  $I_{ном}$ , вимірюють первинний  $I_1$  і вторинний  $I_2$  струми по схемі рисунок 9.3.

## Погрішність трансформатора струму

$$\gamma = \frac{K_{ном} - K_{изм}}{K_{изм}} 100\%, \quad (9.2)$$

де  $K_{ном}$  – номінальний коефіцієнт трансформації;

$K_{вим}$  – вимірний коефіцієнт трансформації.

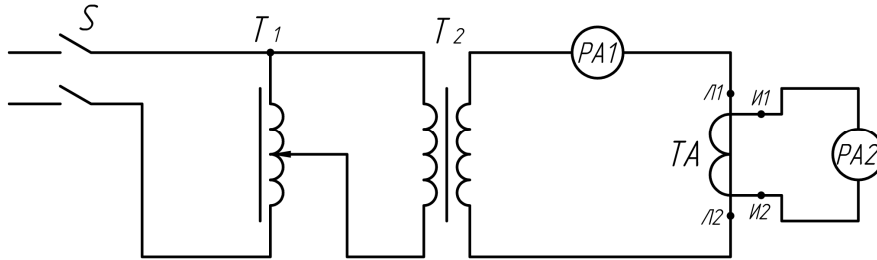


Рисунок 9.3 – Схема для визначення коефіцієнта трансформації

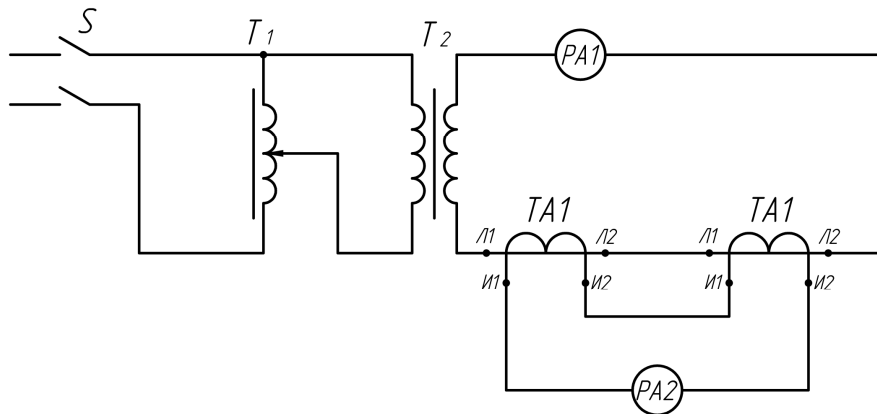


Рисунок 9.4 – Схема для визначення коефіцієнта трансформації двох трансформаторів струму

9.4.6.2 Визначити коефіцієнт трансформації двох трансформаторів струму, включених послідовно.

Загальний коефіцієнт трансформації  $K_3$  двох трансформаторів струму, включених послідовно, визначають по схемі рисунок 9.4

### Контрольні питання

1. Для яких номінальних струмів виконуються ТС?
2. Як залежить погрішність ТС від навантаження?
3. Яким чином конструкція ТС визначається їх призначенням, номінальною напругою, струмом, місцем установки, необхідним класом точності?



4. Які види ізоляційних матеріалів застосовують при виготовленні ТС?
5. Які матеріали застосовуються переважно при вищій напрузі?
6. Як виконують первинну обмотку в різних одновиткових ТС?
7. З якою метою деякі типи ТС (ТПОЛ-10, ТПО-10 і ін.) виконують з двома магнітопроводами і чому звичайно їх переріз різний?
8. Як маркують затиски первинних і вторинних обмоток ТС?
9. Пояснити фізику процесу виникнення високої напруги на затисках вторинної обмотки ТС при її розмиканні.
10. На що впливає номінальна напруга трансформатора струму?
11. Для чого заземляють вторинну обмотку трансформатора струму?

## Лабораторна робота № 10

### ТРАНСФОРМАТОРИ НАПРУГИ

#### 10.1 Мета роботи

Вивчити конструкції трансформаторів напруги (ТН) і дослідити схеми з'єднання ТН в трифазних колах змінного струму.

#### 10.2 Загальні відомості

Трансформатори напруги (ТН) служать для перетворення високої напруги в низьку стандартної величини, яку зручно вимірювати. Звичайно за номінальну вторинну прийнято напругу 100 або  $100\sqrt{3}$  В. Це дозволяє вимірювати будь-яку високу напругу стандартними вимірювальними приладами. Реле захисту, що реагують на напругу, також виготовляють на стандартну напругу, незалежно від напруги установки.

Первинна обмотка ТН ізолюється від вторинної відповідно до класу напруги установки. Для безпеки обслуговування один вивод вторинної обмотки обов'язково заземляють. Таким чином ТН ізолює вимірювальні прилади і реле від кола високої напруги і робить безпечним їхнє обслуговування.

*Основні параметри ТН:*

номінальні напруги обмоток – це напруги первинної  $U_{1\text{ном}}$  і вторинної  $U_{2\text{ном}}$  обмоток, вказані на щитку. Номінальна напруга ТН дорівнює номінальній напрузі первинної обмотки;

номінальний коефіцієнт трансформації

$$K_n = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}} \quad (10.1)$$

погрішність по напрузі %,

$$\Delta U\% = \frac{U_2 K_n - U_1}{U_1}, \quad (10.2)$$

де  $U_1$  – напруга, подана на первинну обмотку;

$U_2$  – напруга, виміряна на виводах вторинної обмотки.

Трансформатори напруги випускають однофазними і трифазними. Трифазні трансформатори виготовляють для напруг до 20 кВ.

Залежно від конструкції магнітопровода трифазні ТН можуть бути з трьохстрижньовими і п'ятистрижньовими магнітопроводами.

Трифазні п'ятистрижньові ТН призначені як для вимірювання фазних і лінійних напруг, так і для контролю ізоляції мережі.

У установках трифазного струму можуть застосовуватися різні схеми з'єднань трансформаторів напруги (рис. 10.1- 10.4).

Схему, представлену на рисунку 10.1, використовують при вимірюванні і контролі міжфазних напруг. Номінальна первинна напруга трансформаторів повинна відповідати лінійній напрузі мережі. Первинна обмотка ізолюється на повну напругу з обох кінців.

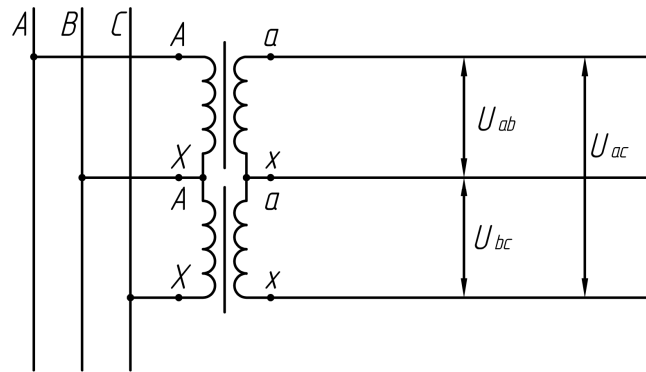


Рисунок 10.1 – З'єднання трансформаторів напруги в неповний трикутник

Схеми, представлені на рисунку 10.2 (з трьох однофазних трансформаторів) і рисунок 10.3 (один трифазний), застосовуються для вимірювання трьох лінійних напруг і напруг по відношенню до «землі», чим досягається контроль ізоляції. Номінальна первинна напруга трансформаторів, включених в зірку, повинна відповідати фазній напрузі мережі, а номінальна вторинна напруга повинна бути рівною 100 В. Первинна обмотка має повну ізоляцію тільки з одного кінця, оскільки другий кінець обмотки заземлений.

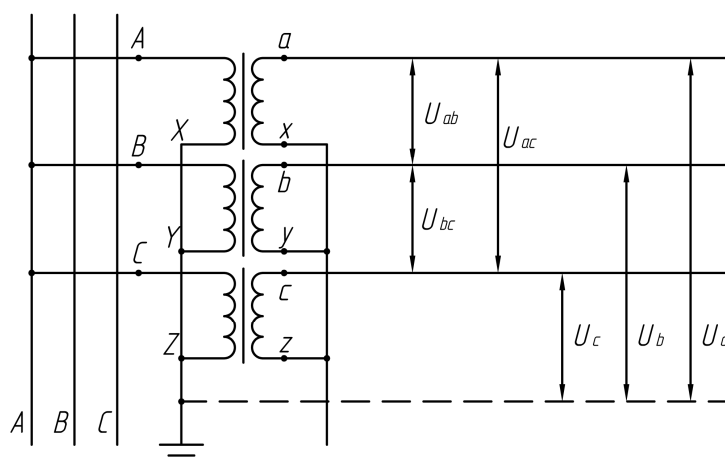


Рисунок 10.2 – Схема з'єднання трьох однофазних трансформаторів напруги

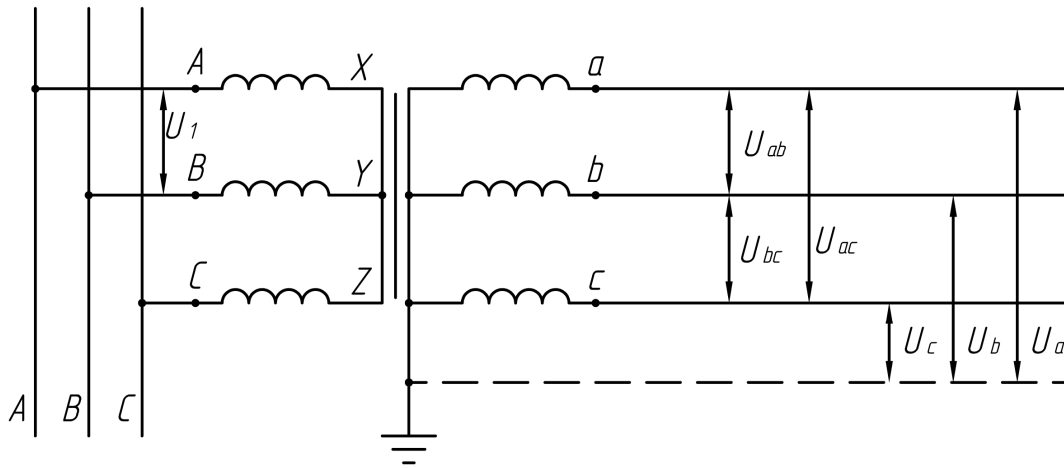


Рисунок 10.3 – Схема трифазного трансформатора напруги

Схема, наведена на рисунку 10.4, застосовується для вимірювання, всіх лінійних і фазних напруг, а також напруги нульової послідовності.

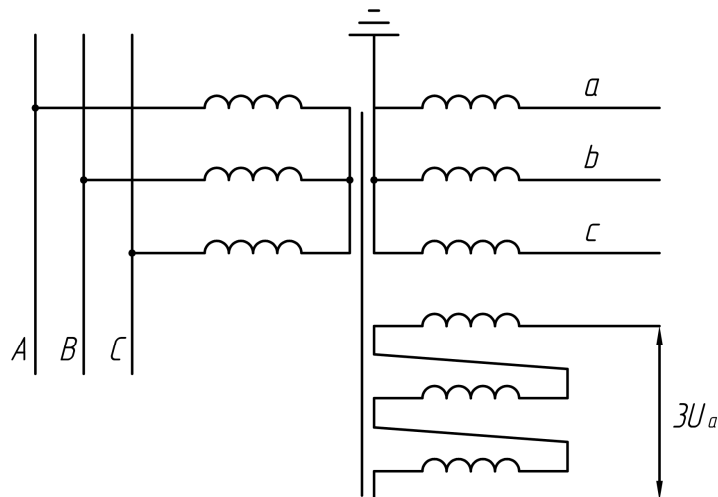


Рисунок 10.4 – Схема трифазного трансформатора напруги з додатковою обмоткою

### 10.3 Домашнє завдання

10.3.1 Вивчити конструкції, систему позначення і характеристики ТН по підручнику [1, гл.15 1].

10.3.2 Письмово відповісти на наступні питання:

- Призначення ТН.
- Що таке номінальний коефіцієнт трансформатора ТН?
- Які параметри ТН нормуються?
- Призначення ТН різних класів.
- Як залежить погрішність ТН від навантаження?

## 10.4 Робоче завдання

10.4.1 Вивчити конструкції представлених в лабораторії ТН.

10.4.2 Провести вимірювання ізоляції обмоток ТН мегаомметром.

10.4.3 Одержані результати вимірювань занести в таблицю 10.1.

Таблиця 10.1 – Результати вимірювання ізоляції обмоток

Вимірювання	Трансформатор 1	Трансформатор 2	Трансформатор 3
Первинна обмотка-земля			
Вторинна обмотка-земля			
Між первинною і вторинною обмотками			

*Примітка: Під час випробувань ізоляції однієї обмотки інші повинні бути заземлені.*

10.4.4 Перевірити полярність виводів трансформаторів напруги. Полярність виводів однофазного трансформатора визначають згідно схеми рисунку 10.5, а.

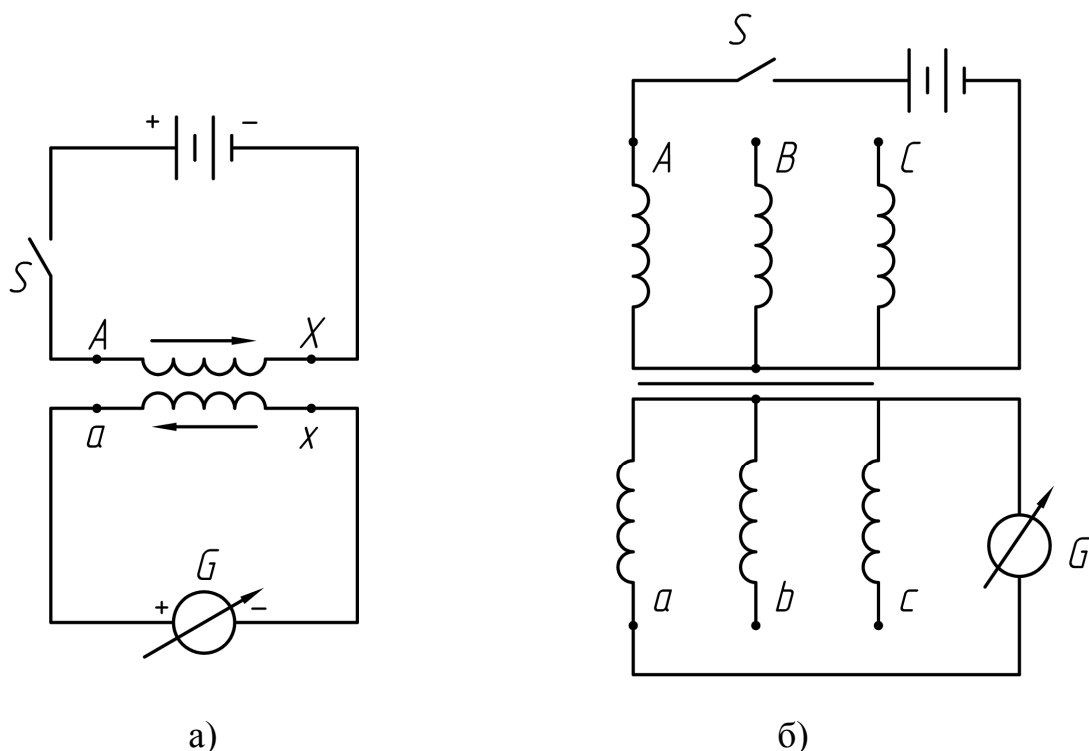


Рисунок 10.5 – Схема для визначення полярності виводів трансформаторів напруги

Якщо при замиканні рубильника стрілка гальванометра, відхилиться управо, то виводи трансформатора позначені правильно (як вказано на схемі). З боку обох зірок полярності виводів обмоток п'ятистріжньового

трансформатора перевіряють по схемі рисунку 10.5, б. Метод перевірки такий же, як і для однофазних трансформаторів.

10.4.5 Зібрати схему, представлену на рисунку 10.6, перевірити коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

10.4.6 Зібрати схему з'єднання ТН в неповну зірку (рис. 10.1). Показання приладів записати в таблицю 10.2.

10.4.7 Зібрати схему «зірка-зірка» із заземленим нулем (з трьох однофазних трансформаторів (рис. 10.2) або включити один трифазний трансформатор (рис. 10.3). Показання приладів записати в таблицю 10.2.

10.4.8 Зібрати схему з трьох однофазних трансформаторів: зірка із заземленим нулем – зірка із заземленим нулем (рис. 10.2). Записати показання приладів в таблицю 10.2. Замкнути одну з фаз живильної мережі на землю і записати показання приладів. Пояснити одержані результати вимірювань. Розземлити нейтраль трансформаторів з боку високої напруги, заземлити одну з фаз живильної мережі, записати показання приладів і пояснити одержані результати вимірювань.

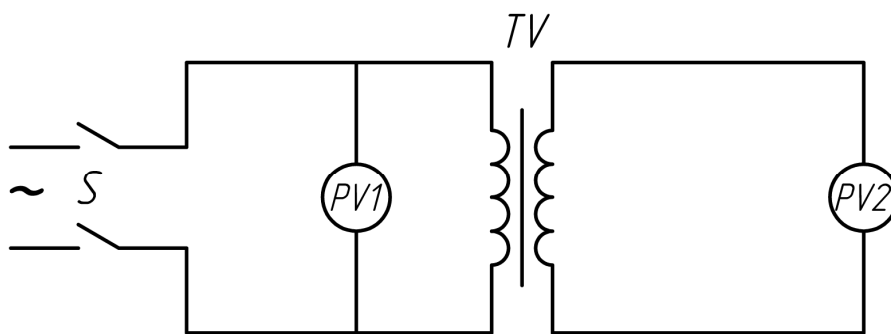


Рисунок 10.6 – Схема для визначення коефіцієнта трансформації трансформатора напруги

10.4.9 Зібрати схему з трьох однофазних ТН: зірка із заземленим нулем – розімкнений трикутник (рис. 10.7). Подати напругу, записати і пояснити результати вимірювань. Провести замикання на землю однієї з фаз живильної мережі, записати результати вимірювань.

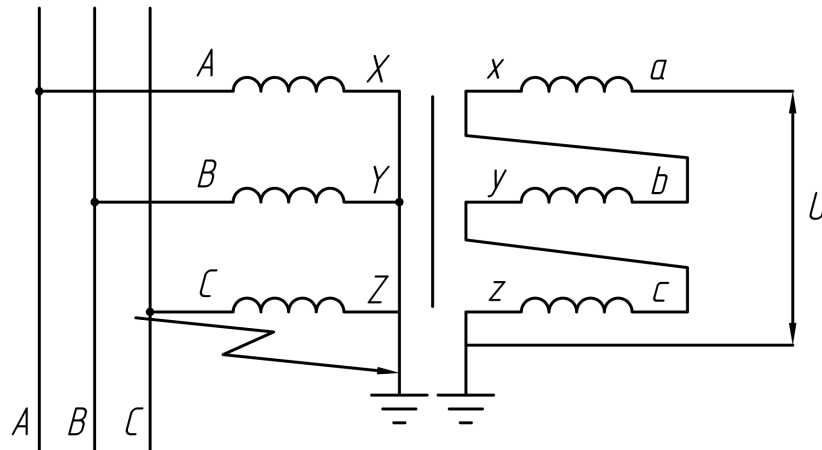


Рисунок 10.7 – Схема зірка із заземленим нулем – розімкнений трикутник

### Контрольні питання

1. Для чого заземляють нульову точку первинної обмотки п'ятистрижньового ТН?
2. Накреслити векторну діаграму напруг трьох фаз по схемі рис. 10.2 при замиканні фази ВН на «землю».
3. Які умови роботи ТН по схемі включених в зірку із заземленою нульовою точкою з високої і низької сторони в мережах з ізолюваною і заземленою нейтраллю?
4. На які номінальні напруги виконують ТН?
5. Як маркують затиски первинних і вторинних обмоток ТН?
6. Які види ізоляційних матеріалів застосовують при виготовленні ТН?

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до лабораторних робіт  
з навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ»**

*(для студентів 3, 4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання  
напрямку підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології,  
слухачів другої вищої освіти  
зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання)*

Укладачі: **ВОРОПАЙ** Валентина Григорівна,  
**ГАРЯЖА** Василь Миколайович,  
**ЩЕРБАК** Ірина Євгенівна

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарової*

План 2017, поз 526 М

---

Підп. до друку 05.05.2017  
Друк на різнографі  
Зам. №

---

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 3,0  
Тираж 50 пр.

Виконавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О.М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК 5328 від 11.04.2017 р.